



Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?

Rémi Nazin

► To cite this version:

Rémi Nazin. Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?. Sciences cognitives. 2014. hal-01107316

HAL Id: hal-01107316

<https://inria.hal.science/hal-01107316>

Submitted on 20 Jan 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License



Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?

Rémi Nazin

Master Sciences Cognitives et Médias Numériques
Spécialité Analyse du Comportement et Ingénierie de l'In-
teraction

*Mémoire supervisé par Didier Fass
(Loria - Équipe MOSEL)*

Soutenu le : 03-09-2014

Jury :
Christine Bourjot (LORIA - Équipe MAIA)
Laure Buhry (LORIA - Équipe Neurosys)
Didier Fass (LORIA - Équipe MOSEL)
Manuel Rebuschi (Archives Henri Poincaré)

L'homme est la mesure de toute chose : de celles qui sont, du fait qu'elles sont ; de celles qui ne sont pas, du fait qu'elles ne sont pas.

*Platon*¹

¹Platon. « Protagoras ». In : *Oeuvres complètes*. Paris : Flammarion, 2008.

Table des matières

	Page
Avant propos	ix
Présentation de l'équipe	x
Introduction	1
Théorisation	7
1 Architecture du système	7
1.1 Architecture	7
1.2 Éléments	8
1.2.1 Constitution	9
1.2.2 Croissance	10
2 Comportement du système	12
2.1 Cognition	12
2.1.1 Les propriétés jamesiennes de la conscience	14
2.2 Perception	15
3 Évolution du système	16
3.1 Communication	17
3.1.1 Interactions fonctionnelles	18
3.2 Mémoire	19
4 Identité fonctionnelle	20
4.1 Fonction	20
4.2 Environnement	21
4.2.1 La question behavioriste	22
5 Bilan	23
Validation expérimentale	25
6 Hypothèses de travail	25
7 Protocole	25
7.1 Conception du questionnaire :	26
7.2 Diffusion du questionnaire	26
7.3 Traitement et analyse des données	27



7.3.1	Démographie et regroupement des sujets	27
7.3.2	Traitement des propositions	28
7.3.3	Mots clés	28
8	Résultats	28
8.1	Éléments descriptifs de la population générale	29
8.2	Procédures utilisées	29
8.2.1	Analyse en composantes principales	29
8.2.2	Classification hiérarchique ascendante	30
8.2.3	Graphe des corrélations	31
8.3	Analyse de la population générale	32
8.3.1	ACP	32
8.3.2	Catégorisation	32
8.3.3	Graphe des corrélations	32
8.3.4	Bilan	32
8.4	Analyse du groupe 1	33
8.5	Analyse du groupe 2	35
8.6	Analyse du groupe 3	36
8.7	Groupes fortement déterminés	38
8.8	Analyse des réponses	39
8.9	Synthèse des résultats	43
9	Discussion	44
	Conclusions	46
	Annexes	49
A	Questionnaire	a1
A1	Résultats	a5
A1.1	Population générale	a5
A1.2	Groupe 1	a8
A1.3	Groupe 1a	a10
A1.4	Groupe 1b	a13
A1.5	Groupe 1bf	a15
A1.6	Groupe 1c	a17
A1.7	Groupe 1ca	a19
A1.8	Groupe 1cb	a21
A1.9	Groupe 1cd	a23
A1.10	Groupe 1ce	a25
A1.11	Groupe 2	a27

A1.12	Groupe 2b	a29
A1.13	Groupe 2d	a32
A1.14	Groupe 3	a35
A1.15	Groupe 3a	a37
A1.16	Groupe 3ac	a39
A1.17	Groupe 3b	a41
A1.18	Groupe 3c	a44
A1.19	Groupe 3cd	a46
A1.20	Groupe 3ce	a48
A1.21	Groupe 3ci	a50
A2	Synthèse	a52

B Fonction de randomisation **b1**

Références **I**

Table des figures

1	Les différentes dimensions définissant un système	1
2	Grille comparative des différentes positions	24
3	Répartition de la population générale selon l'âge et le sexe	a5
4	Répartition de la population générale selon le sexe	a5
5	Répartition de la population générale en catégories de profil	a5
6	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans la population générale . . .	a6
7	Cercle de corrélation des variables dans la population générale	a6
8	Graphes des corrélations entre propositions dans la population générale . . .	a7
9	Catégorisation hiérarchique au sein de la population générale	a7
10	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1	a8
11	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1 (axes 1 et 2)	a8
12	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1	a9
13	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1	a9
14	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1a	a10
15	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1a (axes 1 et 2)	a10
16	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1	a11
17	Boxplot des réponses du groupe 1a	a11
18	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1a	a12
19	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1b	a13
20	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1b (axes 1 et 2)	a13
21	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1b	a14
22	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1b	a14
23	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1bf (axes 1 et 2)	a15
24	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1bf	a15
25	Boxplot des réponses du groupe 1bf	a16
26	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1bf	a16
27	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1c	a17
28	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1c (axes 1 et 2)	a17
29	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1c	a18
30	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1c	a18
31	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1ca (axes 1 et 2)	a19
32	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1ca	a19
33	Boxplot des réponses du groupe 1ca	a20
34	Graphes des corrélations entre propositions dans le groupe 1ca	a20
35	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1cb (axes 1 et 2)	a21
36	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1cb	a21
37	Boxplot des réponses du groupe 1cb	a22
38	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1cd (axes 1 et 2)	a23
39	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1cd	a23

40	Boxplot des réponses du groupe 1cd	a24
41	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1cd	a24
42	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1ce (axes 1 et 2)	a25
43	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1ce	a25
44	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1ce	a26
45	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2	a27
46	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2 (axes 1 et 2)	a27
47	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2	a28
48	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2	a28
49	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2b	a29
50	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2b (axes 1 et 2)	a29
51	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2b	a30
52	Boxplot des réponses du groupe 2d	a30
53	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2b	a31
54	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2d	a32
55	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2d (axes 1 et 2)	a32
56	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2d	a33
57	Boxplot des réponses du groupe 2b	a33
58	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2d	a34
59	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3	a35
60	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3 (axes 1 et 2)	a35
61	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3	a36
62	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3	a36
63	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3a	a37
64	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3a (axes 1 et 2)	a37
65	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3a	a38
66	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3a	a38
67	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ac (axes 1 et 2)	a39
68	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ac	a39
69	Boxplot des réponses du groupe 3ac	a40
70	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3ac	a40
71	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3b	a41
72	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3b (axes 1 et 2)	a41
73	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3b	a42
74	Boxplot des réponses du groupe 3b	a42
75	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3b	a43
76	Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3c	a44
77	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3c (axes 1 et 2)	a44
78	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3c	a45
79	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3c	a45
80	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3cd (axes 1 et 2)	a46

81	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3cd	a46
82	Boxplot des réponses du groupe 3cd	a47
83	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3cd	a47
84	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ce (axes 1 et 2)	a48
85	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ce	a48
86	Boxplot des réponses du groupe 3ce	a49
87	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3c	a49
88	Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ci (axes 1 et 2)	a50
89	Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ci	a50
90	Boxplot des réponses du groupe 3ci	a51
91	Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3ci	a51
92	Constitution de la population	a52
93	Répartition des réponses par catégorie de population	a52

Avant propos

L'intérêt fondamental de l'approche par les systèmes est qu'elle permet de mettre entre parenthèses la distinction vivant/inerte dans l'analyse. Elle limite alors la possibilité d'une analyse dérivant d'un vitalisme² mystique qui serait un non-sens pour notre sujet. En effet, bien que le vivant ait de véritables spécificités par rapport à la technique, celles-ci sont, comme nous le verrons, issues de ses modes d'organisation. Dès lors, la distinction n'est pas une distinction d'essence, mais une différence de type de système. En décrivant ces systèmes selon des bases communes, il devient aisé de comprendre et définir les phénomènes de couplage³ que nous essayons de caractériser.

Le principal problème qui se pose alors est celui de la terminologie et, véritablement, de la conception utilisée pour décrire deux systèmes dont on sait qu'ils sont de nature différente. En d'autres termes, il nous faut savoir dans quelle mesure la description systémique de l'homme machine relève d'une machinisation de la biologie ou bien d'une biologisation de la mécanique. Cela est important d'un point de vue programmatique dans la mesure où le projet est sous-tendu par un humanisme⁴ inhérent à la problématique de l'augmentation de l'homme. Il est évident que l'homme robotisé et l'homme augmenté⁵ ne sont pas deux concepts identiques dans la mesure où l'un correspond à une technicisation réductive de l'humain alors que l'autre vise une intégration de la technique par le biologique.

Notre position n'a que peu à voir avec la vision singulariste que développe Kurzweil, notamment dans *The singularity is near*,⁶ et le catalogue des divergences est trop long pour être ici développé. Celles-ci sont principalement articulées autour de la notion même d'humanité. La position singulariste repose sur la fusion profonde de l'humain et de la technologie avec pour conséquence une réforme de l'humain. Il s'agit là d'une doctrine d'ordre mystique ou religieuse basée sur une plateforme doctrinale relativement simple (pérennité future de la loi de Moore, assimilation de l'intelligence à une capacité de calcul informatique, etc ...) que nous ne partageons pas. Amener la technique dans le champ de la biologie peut se faire sans réduction de l'un à l'autre et l'augmentation des capacités humaines peut se faire sans "dénaturer" l'humain pour les raisons que nous serons amenés à développer dans ce travail.

Les positions classiques sur le sujet sont nombreuses et variées ; on pensera par exemple ici à Thomas Hobbes qui postule dans *Leviathan*⁷ que l'esprit humain a pour fonction le calcul en vue de la prévision des événements à venir sur la base de ceux du passé. Cette position est sous-tendue à la fois par un matérialisme fort (dans la mesure où la pensée est mouvement du corps) et un empirisme particulier (percevoir c'est organiser les données sensibles). L'homme (mais aussi l'animal pour Hobbes) est donc un ordinateur⁸ mais ne se réduit pas à cela ; la fiction de l'état de nature

² « Doctrine d'après laquelle il existe en chaque être vivant un "principe vital", distinct à la fois de l'âme pensante et des propriétés physico-chimiques du corps, gouvernant les phénomènes de la vie. » (André Lalande. *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. 2. ed. Paris : Presses Universitaires de France, 2006)

³ Dans un sens similaire à celui utilisé en électronique où le couplage désigne un transfert d'énergie entre deux milieux.

⁴ Au sens décrit par Loys Moulin dans sa préface à la *Volonté de croire* (William James. *La volonté de croire*. Flammarion, 1916) comme la doctrine qui pose que la connaissance soit subordonnée à l'humain étant donné qu'il la crée.

⁵ En parlant d'"homme augmenté" dans ce travail, on sous-entendra "homme augmenté par la technique".

⁶ Ray Kurzweil. *The singularity is near : When humans transcend biology*. Penguin, 2005.

⁷ Thomas Hobbes. *Leviathan*. Trad. par Gérard Mairet. Paris, Folio, 2000.

⁸ Au sens littéral de créateur d'ordre.

expose la théorie du conatus, c'est à dire de l'instinct de conservation qui est le véritable moteur de l'activité humaine.

Ainsi on voit bien que cette position du XVII^e siècle met en jeu les mêmes éléments que ceux que nous abordons, mais qu'elle ne le fait pas selon les mêmes référentiels. Il serait faux de considérer la position Hobbesienne comme une position computationnaliste, au sens que notre modernité lui donne, parce que si le vocable est le même les concepts en jeu sont en réalité opposés.

Ôtez la capacité calculatoire à l'homme et vous obtiendrez un animal, ôtez son conatus et vous obtiendrez un calculateur bio-logique, ôtez son corps et vous l'anéantissez. C'est dans cette complexité que réside l'humain et il n'est pas là impossible de le réduire à l'une ou l'autre de ces dimensions sans le dénaturer.

Ceci étant dit, les références faites aux auteurs anciens comme Aristote et Platon n'ont pas pour fonction que leur dimension pittoresque et culturelle, elles participent de cette perspective et rappellent que la science n'a pas vocation à la découverte de *la Vérité* étant donné que la science grecque fonctionnait très bien en réponse aux besoins de la vie grecque tout comme notre science est adaptée à notre civilisation.

Ces théories ont de plus la beauté due à la simplicité de leurs concepts fondateurs, la complexité dérivant alors de la casuistique et de l'application comme le montre l'œuvre de Platon. Notre démarche ici est plutôt l'inverse dans la mesure où ce que nous cherchons à définir, ce sont des concepts expressifs permettant, dans l'idéal, d'éviter ces problèmes casuistiques.

Ce que nous nous proposons de faire ici est une comparaison raisonnée des positions pouvant permettre la théorisation de l'homme augmenté et par là même présenter une ébauche de théorie non encore pleinement unifiée.

Pour cette raison ainsi que pour des aspects de temps et de forme, une analyse profonde des variantes de chacune de ces positions n'est pas envisageable. Néanmoins, il demeure possible d'en dresser une forme canonique en se basant sur les fondations mêmes de ces théories. En effet, adopter une position revient en pratique à adopter tout ou partie de ces fondations.

Présentation de l'équipe

L'équipe MOSEL est dirigée par le professeur Dominique Méry, directeur de l'école doctorale IAEM. Elle comprend également les professeurs associés Marie Duflot-Kremer, Didier Fass, Pascal Fontaine, Denis Roegel, et le chercheur Stephan Merz.

La principale activité de l'équipe concerne le développement logiciel orienté par la preuve. Cette approche issue des méthodes formelles de développement logiciel vise à concevoir des systèmes logiciels complexes dotés d'une grande fiabilité.

Dans cette optique, l'équipe travaille à l'adaptation des méthodes formelles à leur usage industriel, et ce au niveau même de la conception, ainsi qu'au développement d'outils et de techniques de validation logicielle.

Concernant nos problématiques, l'équipe travaille sur deux projets intéressants :



Premièrement, le professeur Méry, avec Anton Tarasyuk, à étudier la modélisation de dispositifs médicaux à travers l'étude de méthodes de modélisation pour des systèmes hautement critiques comme les pacemakers ou les défibrillateurs implantés afin d'en proposer une méthode de conception fiable.

Secondement, le projet "Modéliser l'humain augmenté" conduit par Didier Fass constitue le cadre du présent travail. Il vise à comprendre l'intégration entre des systèmes humains et techniques dans l'optique de la conception de ces derniers. Ce projet recoupe le premier dans la mesure où les systèmes étudiés correspondent à des cas présentant des besoins de fiabilité hautement critiques (aérospatiale, défense, santé, etc...).

Conjointement à ces travaux, une majorité des membres de l'équipe est également part au projet VeriDis conduit par l'Inria et Institut Max Planck d'informatique de Saarbrück.

Des informations plus détaillées sur les projets de l'équipe MOSEL n'étant pas en relation directe avec nos travaux sont disponibles dans le rapport d'activité 2013 de l'équipe disponible à l'adresse suivante : <http://www.loria.fr/rapport-dactivite-2013-par-equipe/mosel/view>

Introduction

Les convergences pluridisciplinaires autour de l'homme augmenté et des systèmes humain-artefact évoluent conjointement aux développements des techniques ce qui engendre des questions et des problèmes nouveaux.

Afin de pouvoir concevoir ces systèmes de manière sûre, il est nécessaire de pouvoir répondre à ces problèmes, ce qui rend nécessaire la construction d'un appareil conceptuel adapté.

Le but du présent travail est de présenter une ébauche de cet ensemble théorique et de démontrer sa pertinence dans la population des concepteurs et praticiens liés à l'homme augmenté.

La notion de système

Dans son article de 2012,⁹ Fass distingue un modèle général du système utile à la représentation de l'homme augmenté.

Ce modèle peut se voir synthétisé dans la figure suivante¹⁰ :

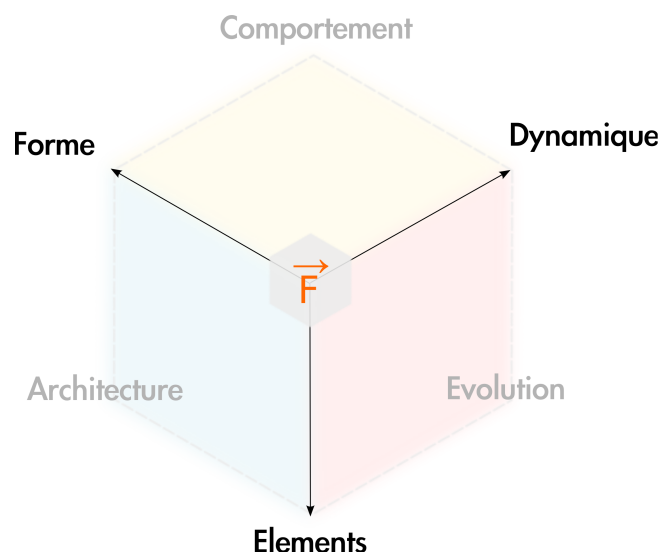


Fig. 1 : Les différentes dimensions définissant un système

Le système se définit par ses dimensions d'exigence (forme, dynamique et éléments) et les spécifications qui en découlent (architecture, évolution, comportement).

⁹Didier Fass. « Augmented Human Engineering : A Theoretical and Experimental Approach to Human Systems Integration ». In : *Systems Engineering-Practice and Theory* (2012), p. 257–276.

¹⁰D'après ([ibid.](#)).

L'architecture du système est définie par les relations spatiales entre les composants du système.

L'évolution du système est issue des interactions entre les composants du système.

Le comportement du système est l'évolution du système en fonction de sa forme et de ses dynamiques internes et de sa relation à un environnement.

Ces trois spécifications du système permettent alors de définir le système par son identité fonctionnelle. L'identité fonctionnelle du système n'est pas *ce pour quoi* le système existe à proprement parler mais ce qu'il fait, c'est-à-dire l'ensemble de ses comportements et évolutions.

L'intérêt primordial de cette définition est quelle tient compte de l'emboîtement de différents objets dans la constitution d'un système à travers une transitivity fonctionnelle.

Un système ne peut alors plus être constitué comme une entité à deux niveaux, selon une dualité *tout-partie*, mais comme une mise en relation de différents systèmes. Ainsi le plus petit composant d'un système sera celui dont l'unité fonctionnelle sera la plus restreinte.

Le corollaire de cette idée est que plus le niveau fonctionnel du système est haut, plus ce dernier sera complexe et intégré.

Ces trois dimensions du système peuvent de plus être considérées comme des dimensions d'intériorité (évolution), de surface (comportement) et de structure (architecture).

Il est notable que cette vision du système est cohérente avec la définition qu'en donne Ludwig von Bertalanffy dans sa *Théorie générale des systèmes*¹¹¹².

Le principal problème de cette définition et ce qui fait sa beauté est qu'elle place la notion d'élément au centre du système, c'est-à-dire que l'élément en tant qu'élément préexiste au système. Il n'y a ainsi pas de système sans élément ni d'élément sans système et il y a système dès lors qu'il y a interaction entre deux entités préalablement indépendantes. Notre position rejoint donc pleinement cette dernière sur ce point.

L'autre point d'achoppement entre notre définition du système et celle de Bertalanffy se place au niveau de la téléologie ; le système résultant d'un couplage s'établissant entre deux objets indépendants, il possède une dynamique, mais pas de but¹³.

De plus notre définition du système permet de poser le système comme objet, dans la mesure où un objet est quelque chose possédant un intérieur, une surface et une structure et

¹¹Ludwig van Bertalanffy. *Theorie Générale des Systèmes*. Trad. par Jean-Benoit Chabrol. Dunod, Paris, 2012.

¹²Il définit le système comme un « complexe d'éléments en interaction »(*ibid.*)

¹³C'est en cela que le système est équilatéral, c'est-à-dire qu'il « tend vers un état caractéristique à partir de différents états initiaux et par diverses voies. »

c'est sur ces trois dimensions que va porter la présente étude. Cette précision est importante dans la mesure où notre approche se veut descendante des travaux de la physiologie classique ou de la biologie qui sont des disciplines pour lesquelles les organes ont une individuation forte.

L'opposition classique à cette approche relève d'un organicisme tel qu'il figure de manière canonique chez Aristote dans les *Parties des animaux*.¹⁴ Aristote fonde l'existence de l'organisme sur le couple matière/forme. Un être vivant est une matière informée par une âme (εἶδος)¹⁵ qui est son principe d'organisation (donc littéralement sa forme). Dans cette conception, le corps est un composé d'organes en vue d'une fin propre et en vue de la préservation de l'εἶδος, ce qui est la fin de l'organisme. Dans cette perspective, la forme est un principe préalablement extérieur qui va organiser la matière et non pas le résultat de l'organisation spontanée d'objets matériels. Elle se transmet ainsi de manière héréditaire lors de la reproduction des animaux.¹⁶

Cette conception ayant infusé dans la culture commune, et d'autres courants philosophiques ayant également donné leur propre définition de la matière, le terme même de matière est trop chargé de sens pour être utilisé de manière satisfaisante. Nous lui préférons alors la notion d'inerte dans la mesure où l'on traite d'un système primitif, c'est-à-dire organisé selon des principes purement physiques.

Considérations métathéoriques préalables

Il peut y avoir un sentiment légitime de circonspection vis-à-vis d'une théorie fondée sur les systèmes. Il tient principalement à l'apparence ésotérique de l'objet même qu'est le système lorsque certaines clarifications ne sont pas faites.

Le premier positionnement à déterminer ici est alors le statut ontologique des systèmes. Leur nature logique est une évidence, mais ne suffit pas à leur attribuer une existence à quel degré que ce soit¹⁷.

Tel que nous le concevons ici, le système ne saurait être un εἶδος au sens que lui donne Aristote, mais tient plus d'un archétype plus apparenté à l'Idée platonicienne (¹⁸) à ceci près qu'il n'est pas transcendant.

¹⁴Aristote. *Parties des Animaux*. Trad. par Jean-Marie Le Blond. Aubier, Éditions Mouton, 1945.

¹⁵On fera ici bien de rappeler le statut de la notion d'âme chez Aristote qui ne recoupe pas exactement celui d'âme dans la tradition judéo-chrétienne, l'âme étant chez Aristote principe de forme et d'animation et engendre la distinction classique sujet-prédicat de la corporéité (on parle ainsi du corps de quelqu'un et non pas de cette personne elle-même en parlant de son corps). Pour référer à ce concept grec nous utiliserons dans cette recherche le terme d'εἶδος

¹⁶Aristote. *Métaphysique*. Trad. par Marie-Paule Duminil et Annick Jaulin. Flammarion, 2008.

¹⁷Débrouiller les problèmes d'existence des objets logiques purs est toujours difficile, on en tiendra pour preuve les débats sur l'existence des nombres

¹⁸Platon. « Timée ». In : *Oeuvres complètes*. Paris : Flammarion, 2008.

Cette non-transcendance impose de renoncer à la théorie de la participation¹⁹. Toutefois, l'objet décrit proprement par un système lui est nécessairement isomorphe²⁰. Il y a même une inversion par rapport à la théorie des Idées de Platon car le système est un construit et, par voie de conséquence, la dépendance ontologique va de l'objet au système.

Le problème posé par ce caractère construit du système est sa relation à l'arbitraire. La nature isomorphe du système par rapport à l'objet modélisé minore cet arbitraire dans la mesure où les caractéristiques du système ne sont pas des déductions logistiques, mais sont issues de l'observation scientifique ce qui nous oblige à adopter une position empiriste forte.

Homme augmenté et homme dans la boucle

L'homme augmenté est un système construit sur la base de l'homme biologique. Il possède la particularité de posséder en propre un sous système technique²¹.

L'homme dans la boucle est une partie d'un système construit selon une dynamique inverse. C'est en effet un système construit sur la base du système technique et qui possède en propre un sous système humain²² que l'on appellera partie subjective du système. On appellera le sous système technique complémentaire au système biologique (avion, voiture, etc ...) partie objective du système.

Ces deux groupes de systèmes présentent des similitudes et des divergences. L'homme augmenté est originellement un système autonome dont une partie des fonctions a été modifiée par un système technique. Cette modification peut être réversible, comme dans le cas des lunettes de vue, ou bien quasi-définitive comme c'est le cas pour les systèmes hautement raffinés du type implant crânien profond. Il va de soi que ces systèmes peuvent être extraits mais le recours à la chirurgie devient alors nécessaire. La distinction entre l'homme outillé et l'homme augmenté n'est donc pas une simple différence de réversibilité technique mais bel et bien une différence quant à la nature de l'augmentation.

La différence entre outillage et élément d'augmentation se fait donc selon le degré d'intégration fonctionnelle, c'est à dire la capacité de l'objet technique à modifier une fonction naturelle (vision, respiration, etc ...) et, en ce sens, des dispositifs d'augmentation peuvent être des outils dans la mesure où ils peuvent être utilisés pour l'accomplissement d'une

¹⁹Théorie qui, chez Platon, postule que les objets individuels sont des exemplifications de leur archétype ou idée.

²⁰On appellera ici isomorphie la propriété de la relation entre un objet et le modèle qui le décrit. Cette propriété représente le degré de fidélité selon lequel le modèle décrit l'objet, ainsi un énoncé métaphorique du type "le cœur est une pompe" est beaucoup moins isomorphe à son objet qu'un modèle plus détaillé du fonctionnement des ventricules.

²¹Selon la délimitation que nous faisons de l'augmentation qu'il est également possible d'envisager sous son aspect culturel ou purement biologique.

²²Biologique en droit mais restreint à l'humain pour l'étude.

tâche. Le propre de l'outil est qu'il a pour fonction l'accomplissement d'une tâche donnée par son utilisateur, c'est à dire qu'il demeure dans une relation d'objectivité avec lui.

Il demeure que l'homme augmenté possède une autonomie qu'il tire de sa nature biologique. Un système homme dans la boucle ne peut avoir cette autonomie en propre. Par définition, il est piloté ou opéré par un sous-système humain. Dans *Du mode d'existence des objets techniques*,²³ Simondon décrit le processus de concrétisation de l'objet technique. Un objet technique se concrétise lorsque se produit une convergence de ses processus internes, convergence qui ne peut se produire qu'en présence d'un opérateur.

Il y a donc quelque chose de plus dans un avion piloté que dans le même avion garé dans un hangar. Et ce quelque chose n'est pas simplement l'utilisation dans la mesure où il est possible dans bien des cas de "détourner" un objet technique de son usage prévu. Alors, l'objet reste technique mais ne se concrétise plus "comme prévu".

Alors, avoir une compréhension cloisonnée de l'homme augmenté et de l'homme dans la boucle apparaît être un découpage problématique du problème. Pour que celui ci soit traitable correctement, il est nécessaire de pouvoir comprendre les systèmes "homme augmenté dans la boucle"²⁴ qui forment en réalité la majorité des systèmes "homme dans la boucle"²⁵.

Le propre des systèmes AHINTL est qu'ils sont de nature hybride. Ils sont techniques en raison de la présence d'un dispositif d'augmentation et de leur composante technique objective mais également biologiques de part leur partie humaine. En plus de ces considérations dues à la nature augmentée de leur partie subjective, les systèmes AHINTL conservent la complexité des systèmes HINTL, c'est à dire une dimension logique, culturelle et sociale importante. Il serait tentant de voir dans les AHINTL de simples systèmes HINTL classiques dans lesquels la partie subjective a été modifiée toute chose étant égale par ailleurs, mais l'augmentation par la technique du sujet dans la boucle entraîne nécessairement une augmentation de sa complexité et par là modifie de manière significative une modification de sa relation à la partie objective du système AHINTL.

Contexte d'application

Notre approche repose sur un postulat fondamental ; l'humain biologique et anthropologique, tout comme l'objet technique, peuvent être analysés à partir de notre modèle de système.

Ce que nous allons faire dans ce travail est caractériser notre approche en montrant les caractéristiques génériques les plus fondamentales des systèmes. Parallèlement, nous ver-

²³ Gilbert Simondon. *Du mode d'existence des objets techniques*. Ed. augm. Aubier, 1989.

²⁴ AHINTLS.

²⁵ HINTLS.

rons que la différence²⁶ entre un système vivant et un système technique est une différence d'organisation et de dynamique fonctionnelle.

C'est cette différence de dynamique fonctionnelle qui permet la complémentarité entre le technique et le vivant et donc l'intégration de l'un par l'autre²⁷.

Le but final de ce travail est d'ouvrir à d'autres travaux permettant de caractériser plus proprement cette intégration.

Comme nous le verrons alors, cette intégration doit se faire à deux niveaux différents que nous appellerons subjectif et objectif. Faute de temps, nous nous concentrerons ici principalement sur la dimension subjective de la notion d'humain machine et verrons ce qui en découle au niveau objectif dans la conclusion.

²⁶Différence postulée ici, mais indubitable en fait.

²⁷Et peut être même de l'autre par l'un.

Première partie

Théorisation

Cette partie constitue le travail d'état de l'art de notre projet. Elle vise à établir des points de comparaison entre les différents courants théorique applicables à l'analyse de l'humain machine tout en en faisant émerger des éléments susceptibles de fonder un courant de pensée non encore pleinement structuré.

1 Architecture du système

1.1 Architecture

L'architecture d'un système fait partie des propriétés structurelles de celui-ci. Elle est directement liée au comportement des éléments du système.

L'architecture est influencée par les positions des éléments du système²⁸ mais elle les conditionne également. Ainsi, l'architecture du système est un modalisateur de l'appartenance d'un système à un autre système ainsi que de son évolution propre.

Le propre de la technique est d'être le domaine des objets conçus. En ce sens, leur organisation est définie sur un mode architectonique²⁹, c'est à dire qu'elle est mise en place de manière logique et soumise à une cause finale et par là à une cause formelle. L'organisation de l'objet technique est soumise à une cause formelle dans la mesure où la forme³⁰ de l'objet est déterminée *en vue de quelque chose*.

À moins de se placer dans une optique créationniste, dire que l'organisation du vivant est également définie sur un mode architectonique ne fait pas sens³¹.

Nous nous trouvons alors face à deux modes opposés de construction de l'architecture du système, établie pas le concepteur dans la technique et dérivée uniquement de causes motrices³² dans la nature.

²⁸La topologie de celui ci.

²⁹Selon l'acception Leibnizienne du terme, voir (Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*).

³⁰εἶδος.

³¹Une doctrine créationniste comprend le vivant comme une catégorie d'artefacts techniques issus d'un d'un concepteur divin ce qui impose qu'ils soient organisés de manière architectonique.

³²On appelle chez Aristote causes motrices ou efficientes les causes extérieures qui engendrent le mouvement (entendu comme changement) dans un élément de la nature(Aristote. *Physique*. Trad. par Pierre Pellegrin. Flammarion, 2000)(Aristote, *Métaphysique*).

1.2 Éléments

Un système, pris comme objet, est nécessairement un complexe d'éléments. Toutefois, et comme on l'a défini, un système est un composé de systèmes. Le principal problème de cette définition est qu'elle est mise à mal par la régression à l'atome ; si l'on considère les atomes constituant chacun des éléments de notre système, ceux-ci se divisent en particules élémentaires. Le propre d'une particule élémentaire étant son indivisibilité, celle-ci ne peut être un système pour la raison qu'elle ne saurait être un complexe d'éléments.

Plusieurs solutions à ce problème sont possibles :

1. Abandonner la notion de système de systèmes : cette position remet profondément en cause notre définition et reconfigure la définition d'un système comme celle d'un complexe d'éléments non nécessairement systémiques.
2. Redéfinir la notion de système : cette position mène à ce que l'on appellera une *théorie laxiste des systèmes* qui rabattra la notion de groupe sur celle de système. Ainsi, les particules élémentaires deviennent des groupes composés d'un seul individu et sont dès lors des systèmes. Si cette solution fantaisiste règle formellement le problème, elle dissout également la fertilité et l'intérêt de l'approche systémique.
3. Postuler une limite au niveau subatomique : cette position est permise par la physique et par le caractère exotique de l'univers subatomique. Le cœur de l'atome semble en effet avoir des raisons que la raison n'intègre qu'à grands frais et poser que la frontière entre le newtonien et le quantique puisse également être une limite au champ d'application de la notion de système semble à cette lumière un postulat prudent. C'est la position que nous soutiendrons ici.

De plus, la portée de notre domaine se restreint à l'écologie humaine, c'est-à-dire une échelle spatiale allant de la protéine à quelques centaines de mètres. Comme la présente Heft dans *Ecological Psychology in Context*,³³ l'écologie est « une approche pluridisciplinaire qui étudie les systèmes vivants, leurs environnements et la réciprocité qui s'établit entre les deux »³⁴.

Il n'est pas ici question de tenter de définir l'origine du vivant par les systèmes, la question est intéressante, mais nécessiterait un traitement dédié pour être proprement analysée. Dans ce travail, le vivant est considéré comme un donné dans la mesure où l'on sait qu'il existe et qu'on peut le distinguer de l'inerte par ses formes d'organisation spécifiques. À cet égard, notre position est donc confortable car nos objets les plus basiques sont déjà des complexes physiques.

L'autre aspect fondamental de la notion d'élément est son appartenance possible à diffé-

³³Harry Heft. *Ecological psychology in context : James Gibson, Roger Barker, and the legacy of William James's radical empiricism*. L. Erlbaum Mahwah, NJ, 2001.

³⁴Notre traduction.

rents systèmes de manière simultanée ou non. Par exemple, le tissu sanguin pris en tant que système est impliqué dans la quasi-totalité des systèmes de haut niveau³⁵ du corps humain. Cela est dû à la distribution de certains de ses éléments.

Ainsi, l'appartenance à un système est une propriété extrinsèque d'un système donné dans le vivant, mais est une propriété importante et intrinsèque dans le technique ce qui constitue un critère de discrimination en vertu des conclusions de la section 1.1.

1.2.1 Constitution

La constitution d'un système est sa création. Elle repose sur une conception à deux niveaux de la création, à savoir l'organisation de la matière et l'organisation éventuelle du système par l'acquisition d'une architecture complexe.

On appellera système inerte un système qui est organisé par des phénomènes uniquement physiques. Concrètement, cela revient à dire une chose généralement admise qui est le fait que la matière est un composé d'atome et de molécules organisé par les interactions fondamentales de la physique.

Un système vivant est issu de la mise en couplage d'au moins deux systèmes inertes ou vivants³⁶. Il faut en effet qu'il y ait un précurseur inerte au vivant. Cela tient au fait que lorsque l'on analyse le vivant en descendant selon l'échelle spatiale, on constate qu'il est composé de molécules et d'atomes. À ce titre, distinguer des molécules vivantes et des molécules non vivantes ne fait pas sens car, pour un objet physique, appartenir au vivant ne nécessite pas d'être vivant soi même sans quoi un atome de carbone de la membrane cellulaire serait vivant et un autre appartenant à un diamant ne le serait pas.

Dans *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*,³⁷ Chauvet décrit un principe fondamental pour la constitution du vivant. Le PAAS³⁸ est un principe unique qui permet d'expliquer le passage de l'inerte au vivant ainsi que la théorie synthétique de l'évolution. Ce principe, au sens physique fort du terme, constitue le support de la théorie causale de l'organisation que construit Chauvet.

Considérant un hypothétique être vivant bicellulaire que nous appellerons Paul :

- Si les deux cellules sont autonomes alors il n'y a pas d'unité d'être et l'on a deux êtres unicellulaires. Il faut donc qu'une dépendance existe entre les cellules.
- L'existence de la dépendance impose qu'il y ait une raison³⁹ à celle-ci. Ainsi la cellule

³⁵ Systèmes digestif, moteur, nerveux, ...

³⁶ Ou bien encore un système de chaque catégorie.

³⁷ Gilbert Chauvet. *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*. VUIBERT. VUIBERT, 2006.

³⁸ Principe d'Auto-Association Stabilisatrice. ([ibid.](#))

³⁹ Cause motrice.

A est nécessairement pourvoyeuse de quelque chose à la cellule B.

- Cette dépendance doit être profonde, c'est-à-dire que détruire l'une des deux cellules revient à détruire Paul⁴⁰. La relation est donc d'ordre critique pour les cellules prises individuellement, c'est la cause de la persistance de Paul.

Paul est donc un complexe de deux cellules qui sont ses éléments, la forme de ce système est relativement simple et son évolution est directement corrélée à la relation de dépendance entre les deux cellules qui le composent.

- Cette relation [R] est asymétrique dans la mesure où la cellule A supplée à une fonction de la cellule B. Si la cellule B supplée également à une fonction de la cellule A, ce sera une relation [R'].
- On appellera, dans le cadre d'une relation, la cellule suppléante « source » et la cellule supplée « puits ».
- Une interruption ou une perturbation de la relation de dépendance entraîne une déstabilisation du puits et éventuellement sa destruction.

Par conséquent, si l'interruption des relations de dépendance mène à la déstabilisation des deux cellules, ce sont ces relations qui les maintiennent dans un état quasi stable. Ainsi, le fait de se trouver en relation augmente les chances de survie des éléments du système, c'est à dire augmente leur domaine de stabilité.

Cette augmentation du domaine de stabilité des cellules A et B va conduire à leur reproduction ce qui va amener une augmentation de la population de systèmes de la même espèce que Paul, c'est à dire qui seront organisées par les mêmes interactions fonctionnelles.

Ainsi, on voit alors bien comment il est possible de définir le vivant comme une classe spécifique de systèmes constitués selon le PAAS et il est aisé de comprendre comment ce principe est en adéquation avec la théorie synthétique de l'évolution en ce qui concerne la construction de populations dont les membres sont en relation de filiation.

1.2.2 Croissance

Croire que la croissance est une propriété spécifique du vivant est faux du point de vue systémique. En effet, la genèse d'un cristal est tout autant une croissance⁴¹ que le développement fœtal⁴². La distinction entre vivant et inerte se fait au niveau des phénomènes de croissance eux-mêmes. Là où certains systèmes croissent suivant la répétition d'un même motif, d'autres se développent à travers une différenciation forte.

⁴⁰Mais pas nécessairement l'autre cellule.

⁴¹Au sens très générique du terme.

⁴²La langue anglaise ne fait d'ailleurs pas la distinction et utilise "growth" dans les deux cas.

Dans un système inerte, deux cas de figure sont possibles :

1. Il n'y a pas de croissance : c'est le cas des artefacts, ils ne croissent pas, mais peuvent changer d'architecture par adjonction de sous-systèmes supplémentaires préalablement extérieurs. Un robot autonome doté de la capacité de s'ajouter de nouvelles fonctions par l'intermédiaire de nouveaux membres n'est pas à ce titre un système capable de croissance, mais d'auto-construction. Cela tient au fait qu'il va modifier son architecture avec de nouveaux éléments qui lui seront préalablement extérieurs, dans la mesure où ils seront construits et fonctionnels avant le rattachement au système du robot.
2. Il y a croissance par développement d'une série de motifs : c'est le cas des cristaux, ceux-ci croissent par l'adjonction progressive au système original de nouveaux éléments suivant un motif répété. C'est une croissance régulière par nature et toute modification de la série du motif est due dans ce cas à une perturbation des conditions de croissance.

Le vivant est traditionnellement considéré comme doté de croissance. Ce qui le distingue des cristaux, c'est sa complexité intrinsèque. En effet, un cristal est un système physique simple qui est la répétition monotone d'un motif alors que le vivant est par nature un système complexe, c'est-à-dire qu'il est composé d'éléments similaires qui se regroupent en structures spécialisées. Cette notion d'hétérogénéité est importante car elle est la base de la vie et c'est elle qui engendre la complémentarité fonctionnelle des tissus spécialisés dans le corps humain.

Ce que Chauvet nomme orgatropie est un équivalent biologique de l'entropie. La fonction orgatropie décrit les possibilités de modification de l'organisation d'un système en lien avec la variations du nombre de ses unités structurales⁴³.⁴⁴ Cette fonction mesure donc l'activité du système biologique de manière quantitative.

La différenciation des tissus est un processus susceptible d'amener l'émergence d'une nouvelle fonction physiologique. Cette émergence est le résultat d'un accroissement du niveau d'organisation du système. Cet accroissement est concomitant avec un accroissement de l'orgatropie.⁴⁵ Si des contraintes sont imposées au système, des modifications de l'organisation du système vont se produire et alors engendrer de nouvelles fonctions tout en diminuant l'orgatropie.

⁴³Les unités structurales sont ce que l'on appelle les sources et puits de l'interaction fonctionnelle. On en trouvera une définition à la section 3.1.1

⁴⁴Chauvet, *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*.

⁴⁵*Ibid.*

2 Comportement du système

Le comportement d'un système est l'évolution de celui ci en fonction de sa forme, de ses dynamiques internes et de sa relation à un environnement. Cette catégorie regroupe des notions comme la cognition ou la perception, c'est à dire des activités du système conditionnées par la forme de celui ci.

2.1 Cognition

Historiquement la pensée est un objet scientifique problématique. Elle a toutefois été considérée selon un certain nombre de positions paradigmatiques.

La première d'entre elles est ce que l'on appellera ici le substantialisme et est visible chez Descartes. Celui-ci pose un dualisme des substances, c'est-à-dire que le monde se compose de *res extensa* et de *res cogitans*. La *res extensa* est ce qui est spatial⁴⁶ alors que la *res cogitans* est ce qui ne l'est pas, principalement parce qu'elle n'est ni localisée ni divisible. L'âme⁴⁷ est *res cogitans* et possède par là des propriétés particulières. Du point de vue scientifique elle est un donné pur composé de différentes parties dont l'intelligence ou l'imagination. Ainsi l'intelligence existe par l'existence de l'âme qui existe *par elle même* et le problème de sa constitution ne se pose pas⁴⁸. La doctrine des esprits animaux qu'il développe dans les *Passions de l'âme*⁴⁹ pose tout de même l'existence d'une interface entre les deux substances.

La position inverse au substantialisme est basée sur le mécanisme. Elle est notamment soutenue par Hobbes dans *Leviathan*.⁵⁰ Son modèle de fonctionnement est analogue à celui de la Pascaline⁵¹, c'est-à-dire celui d'un calculateur logique matériel, c'est le corps qui est alors à la fois la source et le support de la pensée qui est le calcul résultant de *mouvements* de parties^{52,53}.

C'est de ce type de position que va découler le physicalisme qui sous-tend les théories de la cognition aujourd'hui utilisées. Elle semble d'ailleurs reprise telle qu'elle dans les textes fondateurs du behaviorisme^{54, 55}.

⁴⁶C'est-à-dire ce qui est géométrique, susceptible d'être divisé à l'infini.

⁴⁷Synonyme d'esprit chez Descartes.

⁴⁸C'est le but de la démonstration de l'existence du *cogito* dans les *Méditations métaphysiques* (René Descartes. *Méditations Métaphysiques*. Trad. par Jean-Marie Beyssade et Michelle Beyssade. GF Flammarion, 1979) qui conclut à l'existence d'une pensée en acte, qui est par là indépassable en terme de compréhension.

⁴⁹René Descartes. *Les passions de l'âme*. Vrin, 1994.

⁵⁰Hobbes, *Léviathan*.

⁵¹Machine à calculer inventée par Blaise Pascal dont le fonctionnement est basé sur des rouages et qui constitue l'artefact technique le plus avancé de l'époque.

⁵²Hobbes, *Léviathan*.

⁵³Comme dans la Pascaline où le résultat du calcul est déterminé par la rotation de rouages.

⁵⁴John B Watson. *Behaviorism*. New York : W. W. Norton and company, inc, 1925.

⁵⁵B. F Skinner. *About behaviorism*. New York : Vintage Books, 1974.

Les doctrines cognitivistes n'accordent qu'un intérêt limité à la relation corps-pensée dans la mesure où la réduction pensée-computation est posée très tôt, notamment par Pylyshyn en 1984 dans *Computation and cognition : toward a foundation for cognitive science*.⁵⁶ Cette réduction est permise par l'assimilation du fait qu'une machine de Turing peut reproduire certains comportements cognitifs ; en supposant que la cognition est un processus intégralement logique, celle-ci peut en effet être reproduite par l'une de ces machines.⁵⁷

Cette réduction amène l'évacuation du problème du corps car l'analyse de la pensée devient une analyse purement logique et le corps devient un ensemble de capteurs, d'effecteurs associés à un calculateur. Dès lors l'analyse de l'esprit est une analyse du logiciel de la pensée.

On trouve des positions similaires dès le début du XX^e siècle, notamment avec le Cercle de Vienne.

D'un autre côté, les positions connexionnistes tendent à étudier l'autre partie de l'alternative. La réduction pensée-computation est toujours valable mais l'esprit est un logiciel émergeant d'une structure matérielle qui est le réseau constitué par les neurones. L'analyse de l'esprit devient alors une analyse de son substrat matériel.

La défiance vis-à-vis de cette réduction logique n'implique toutefois pas le refus de la logique. On tiendra pour preuve de cela les travaux de Reichenbach qui, bien que positiviste logique, distingue les champs d'application complémentaires de la psychologie et de la logique dans l'analyse de la pensée dès l'introduction des *Elements of Symbolic Logic*.⁵⁸ Alors, de même que soutenir que la nature est mathématiquement intelligible ne revient pas à la réduire à la mathématique, soutenir que la pensée est logiquement intelligible n'impose pas non plus la réduction.

Refuser une position computationnaliste impose de fonder un modèle de l'esprit sur autre chose que le réseau neuronal pris comme modèle isomorphe du circuit électronique. Comme nous l'avons vu, notre modèle pose la fonction comme résultante du comportement, de l'évolution et de l'architecture du système, par conséquent la pensée va adopter cette forme. La principale divergence avec un connexionnisme classique étant alors le caractère fondamental que prend la dynamique du réseau neuronal dans notre position. Étant données les propriétés de la perception et de la mémoire que nous allons développer par la suite sur ces bases, notre conception de la pensée doit plutôt s'orienter vers une position proche de celle développée par James dans les *Principles of Psychology*⁵⁹ et qui est pleinement cohérente avec les approches intégratives à ce sujet.

⁵⁶Zenon W. Pylyshyn. *Computation and cognition : toward a foundation for cognitive science*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1984.

⁵⁷Alan M. Turing. « On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem ». In : *J. of Math* 58 (1936), p. 345–363.

⁵⁸Hans Reichenbach. *Elements of symbolic logic*. New York : Macmillan Co., 1947.

⁵⁹William James. *The principles of psychology*. New York : H. Holt et company, 1890.

2.1.1 Les propriétés jamesiennes de la conscience

Dans *Bright air, brilliant fire : on the matter of the mind*,⁶⁰ Edelman définit ce qu'il appelle les « propriétés jamesiennes de la conscience⁶¹ » qu'il résume en sept postulats :

- La conscience est un processus.
- Elle a affaire à des objets indépendants d'elle.
- Elle est personnelle.
- Elle est soumise au changement mais est continue.
- Elle est sélective dans le temps.
- Elle est intentionnelle.

Dans *On the function of cognition*,⁶² James décrit la connaissance⁶³ comme une fonction de la conscience, c'est à dire qu'elle dérive d'une pensée⁶⁴.

Dans *Does Consciousness' Exist ?*,⁶⁵ il pose l'idée que la conscience n'est pas une entité mais une fonction. Il n'y a alors pas une conscience mais des pensées pour une personne. Ainsi, la pensée, au sens commun du terme, est le produit d'une fonction du « courant de conscience »⁶⁶.

Le fait que l'idée soit susceptible de connaître rend nécessaire qu'il y ait quelque chose à connaître, à savoir une réalité extérieure. Ainsi à travers la connaissance, la conscience est donc fondamentalement intentionnelle.

Le caractère continu de la conscience met en jeu deux visions de la pensée à savoir un spiritualisme et un immanentisme. Adopter une position spiritualiste revient à affirmer l'existence d'une entité préalable à la pensée ; un penseur. La position immanentiste ne suppose que l'existence de pensée en acte et qui tend à constituer son propre sujet. Ainsi, cette position soutient que l'esprit humain est, littéralement, une pensée en acte plutôt qu'une entité et notre approche se situe dans cette perspective.

Dès lors, on comprend bien les raisons qui nous font rejeter les théories computationnalistes de l'esprit ; il n'y a pas un esprit qui pense quelque chose dans une relation sujet/objet mais

⁶⁰Gerald M Edelman. *Bright air, brilliant fire : on the matter of the mind*. BasicBooks, 1992.

⁶¹Le traducteur français traduit *consciousness* par *conscience* mais la notion est similaire à celle de *pensée*.

⁶²William James. « On the function of cognition ». In : *Mind* 10.37 (1885), p. 27–44.

⁶³*Cognition* en anglais, et puisque l'on dispose d'un mot qui le traduit bien, nous vous épargnerons le néologisme.

⁶⁴Prise au sens de synonyme de sensation.

⁶⁵William James. « Does Consciousness' Exist ? » In : *The Journal of philosophy, psychology and scientific methods* 1.18 (1904), p. 477–491.

⁶⁶*Stream of Consciousness*.

uniquement une pensée en acte dont la possible réflexivité permet la sujettisation⁶⁷.

2.2 Perception

Les théories de la perception sont nombreuses car elles représentent l'un des problèmes les plus fondamentaux de l'existence humaine qui est celui de la relation au monde extérieur. Dans l'optique de notre sujet, deux grands courants se dessinent à cet égard ; le représentationnalisme et le réalisme direct.

La distinction entre ces deux paradigmes se fait au niveau de l'acceptation de la représentation. La thèse représentationnaliste stipule que le monde est perçu à travers un processus d'acquisition et de traitement de l'information. Ce qui est l'objet de la cognition est alors une image⁶⁸ de la réalité. Dans le cas de la perception visuelle, tout se passe alors *comme si* l'image optique était acquise par une caméra numérique avant d'être stockée dans un cluster de mémoire.

La position réaliste directe n'admet pas ces images mentales et se trouve tenue de manière canonique par Gibson dans *L'approche écologique de la perception visuelle*⁶⁹ où il soutient que l'œil n'est pas une caméra et l'individu n'est alors pas confronté à des images de la réalité mais à la réalité elle-même.

Ce refus d'admettre la représentation dans la perception tient à un autre refus fondamental de la part de Gibson qui est celui de l'assimilation de la perception à la sensation. Considérer l'œil comme une caméra, c'est-à-dire un périphérique d'entrée, mène à en faire un organe passif. Cette passivité fait de lui la cible d'une impression de l'environnement. Or la perception est un comportement intentionnel, c'est-à-dire qu'elle est *à propos de* son objet. Cette intentionnalité est importante chez Gibson car elle sous-tend la distinction perception-sensation.

Pour comprendre cette distinction, il est important de comprendre le fait que la perception est ici le comportement d'un système esthétique. Au sein de ce système composé à la fois de l'organe sensoriel, d'organes moteurs et d'une partie du système nerveux, la perception est l'intégration de la sensation. Ainsi, le système esthétique ne perçoit pas un stimulus, mais un étalage⁷⁰ d'objets qui est l'environnement réel.⁷¹

D'un point de vue systémique, il faut alors en conclure que la sensation est un phénomène de surface des systèmes esthétiques alors que la perception est une partie de l'évolution de

⁶⁷La sujettisation étant l'établissement du sujet logique dans la pensée, qui permet de littéralement donner un *ego* au *cogito*.

⁶⁸au sens latin d'*imago* : représentation.

⁶⁹James Jerome Gibson. *L'approche écologique de la perception visuelle*. Trad. par Olivier Putois. 1^{re} éd. Éditions Dehors, oct. 2014.

⁷⁰array

⁷¹Gibson, *L'approche écologique de la perception visuelle*.

ces systèmes.

Comprendre la perception comme une intégration de la sensation nécessite d'abandonner la notion de représentation (sensible). La perception est, dans cette théorie, une construction immédiate de sens qui fait que le sujet perçoit l'objet de manière directe⁷². L'héritage uexküllien se retrouve dans la distinction entre environnement et monde physique. L'environnement n'est pas ici une interprétation du monde physique, mais l'intégralité de ce qui est perceptible de la manière dont le sujet est apte à le percevoir, ce qui en constitue une partie spécifique.

Dans la théorie de Gibson, l'action du sujet est guidée par les affordances qu'il théorise dans *L'approche écologique de la perception visuelle*⁷³⁷⁴.

La notion d'affordance impose la « complémentarité entre le sujet et l'environnement »⁷⁵ et est donc une propriété de l'hypersystème, que nous définirons plus tard. L'affordance est perçue par le sujet et ne correspond pas au classement d'un objet dans une catégorie, mais bel et bien à une construction de sens. L'affordance est le constituant primordial de l'environnement et les objets ne sont qu'un type particulier d'affordance et ne sont perçus qu'à ce titre, c'est-à-dire en tant que possibilité d'action.

La première conséquence de cette conception de la perception est sa familiarité avec celle que William James offre de la conscience dans les *Principles of psychology*.⁷⁶ Percevoir n'est pas extraire séquentiellement de l'information préexistante mais plutôt intégrer la sensation dans une dynamique continu, c'est à dire dans un flux perceptif⁷⁷.

3 Évolution du système

Contrairement au comportement, l'évolution du système ne constitue pas une spécification active mais est plutôt la conséquence de la mise en relation de différents systèmes. Bien évidemment, le lien entre évolution et comportement est très fort et ne constitue pas une subordination de l'un à l'autre mais un ensemble d'influences croisées.

⁷²D'où le caractère direct du réalisme de cette position.

⁷³Gibson, *L'approche écologique de la perception visuelle*.

⁷⁴Les traducteurs français de Gibson ont tendance à remplacer l'anglicisme d'"affordance" par le terme d'"invite". Cette traduction est à notre avis hasardeuse dans la mesure où la notion d'invite en français qui dérive du latin *inviti* se retrouve dans le verbe to invite en anglais, mais pas dans le verbe to afford, cette traduction tend donc à effacer la précision du terme dans le texte de Gibson. Pour cette raison nous préférons traduire "affordance" par "affordance".

⁷⁵Gibson, *L'approche écologique de la perception visuelle*.

⁷⁶James, *The principles of psychology*.

⁷⁷*Stream of perception* chez Gibson.

3.1 Communication

En termes de communication, deux paradigmes s'affrontent également. D'un premier côté, certains courants sont sous-tendus par la théorie développée dans les années 1940 par Claude Shannon. Cette théorie initialement développée pour l'industrie des télécommunications postule que la communication est la transmission d'un message contenant de l'information entre un émetteur et un destinataire déterminés. Sa fondation mathématique permet à Shannon de fournir un moyen de quantifier l'information en tenant compte du phénomène de bruit. En raison du caractère électro-chimique de l'activité cérébrale et de l'assomption turingienne⁷⁸, l'utilisation de la théorie de Shannon représente un pilier de certains courants en sciences cognitives et en neurobiologie. Elle repose sur l'assimilation des neurones aux portes logiques des circuits électroniques et qui permettent selon leur agencement de créer des réseaux complexes.

Dans un circuit électronique, la théorie de Shannon est pertinente, de même que la seconde loi de la thermodynamique⁷⁹ mais elle est problématique dans le vivant car elle pose l'existence d'un émetteur et d'un destinataire déterminés et localisés. Ce problème est un problème d'application à la biologie et non pas un problème théorique, entre deux portes logiques dans un circuit électronique on trouve un conducteur électrique qui va conduire le courant. Parler en termes shannoniens de la communication en biologie suppose de considérer que de tels canaux de communication existent dans le cerveau, ce qui représente une analogie naïve avec ce dernier.

Dans les années 1970, Gilbert Simondon développe dans ses cours une autre théorie de la communication.⁸⁰ Cette théorie pose la communication entre des systèmes quasi clos, c'est à dire qui disposent d'entrées et de sorties, comme un couplage entre ces deux individualités. Le caractère fertile de cette théorie est son sous-bassement physique qui lui offre d'emblée le monde comme champ d'application. Ainsi, la communication qui a lieu dans les systèmes météorologiques n'est pas conceptuellement différente de celle qui a lieu dans une machine et dans le vivant ; seules les modalités d'application divergent.

Les principaux caractères de la communication simondonienne imposent que les systèmes en présence soient dans une situation d'équilibre métastable. Elle ne nécessite pas la réciprocité du couplage, c'est-à-dire qu'un des systèmes peut agir sur l'autre indépendamment de l'évolution de ce dernier ; elle est ainsi non nécessairement symétrique. De même, la communication n'est pas nécessairement locale.

Dans ses travaux sur la théorie mathématique de la physiologie intégrative,⁸¹ Gilbert Chau-

⁷⁸La pensée humaine est reproductible par une machine de Turing.

⁷⁹« Toute transformation d'un système thermodynamique s'effectue avec augmentation de l'entropie globale incluant l'entropie du système et du milieu extérieur. »

⁸⁰Gilbert Simondon. *Communication et information : cours et conférences*. Philosophie. Chatou : Editions de la Transparence, 2010.

⁸¹Chauvet, *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*.

vet définit l'interaction fonctionnelle comme étant non symétrique, non locale. Elle recoupe donc les caractéristiques simondoniennes de la communication.

3.1.1 Interactions fonctionnelles

Chez Chauvet, la notion d'interaction fonctionnelle résulte d'une refonte de la causalité. En un sens générique elle est la communication entre deux systèmes biologiques.

Ce qui caractérise cette forme de causalité c'est de prime abord sa directionnalité. Dans le vivant, la communication se fait par l'intermédiaire de corps chimiques ou la transmission d'un potentiel d'action.

Contrairement à ce qui se passe en physique, ce mode de communication causale n'est pas omnidirectionnel. Une force physique est causale, mais se propage dans toutes les directions alors qu'un neurotransmetteur ne se propage pas, il se déplace⁸². Cette notion de déplacement impose les deux autres caractéristiques de l'interaction fonctionnelle ; elle impose premièrement une temporalité, c'est-à-dire qu'elle est liée à un événement précis contrairement aux forces physiques qui sont des invariants de l'existence de l'objet considéré. Secondement, le déplacement impose la non-symétrie de l'interaction fonctionnelle. Puisque l'interaction se déplace, elle va d'un lieu à un autre alors que l'interaction gravitationnelle n'est que la rencontre de deux champs gravitationnels fixes⁸³.

Dès lors, l'interaction fonctionnelle a, au sens fort, un émetteur et un récepteur que Chauvet nomme respectivement *source* et *puits*. Ces termes sont lourds de sens dans une théorie de la causalité et représentent la dimension fortement indéterministe de la directionnalité. Cette position peut paraître saugrenue de prime abord, mais repose sur l'idée que la relation entre une source et un puits n'est pas une relation d'émetteur à un destinataire dans la mesure où cela nécessiterait qu'il y ait pour un émetteur donné un récipiendaire lui aussi donné. Or la notion d'interaction fonctionnelle repose sur le déplacement d'un objet au sein d'un milieu interne à travers des phénomènes physiques comme la diffusion. La directionnalité dans son sens large est alors l'émission aveugle de cet objet qui va migrer de manière autonome vers un lieu propice dans lequel se trouvent les puits, lesquels puits étant des puits parce qu'ils ont une tendance à interagir avec lui.

Chauvet développe les notions de source et de puits pour des raisons précises. Le puits est un puits, et pas un récepteur, parce qu'il y a transformation et parce qu'il s'agit d'un rôle dans l'interaction fonctionnelle.

L'interaction fonctionnelle est donc, par principe, une action. C'est à dire que sa réalisation va modifier son puits de manière significative à travers un phénomène appelé transduction.

⁸² Il n'existe pas de neurotransmetteur isolé dans la nature puisque ceux ci sont toujours émis en "paquets". Il se produit alors des phénomènes de diffusion qui vont propager l'ensemble des neurotransmetteurs émis par le déplacement des neurotransmetteurs individuels.

⁸³ Ils sont fixes dans les référentiels respectifs de leurs supports respectifs.

C'est cette nature transductive même qui supporte le PAAS dans la mesure où la modification entraîne, en droit, la destruction du puits de manière plus ou moins directe ou bien l'augmentation de son domaine de stabilité par son caractère supplétif.

On voit bien alors comment la notion d'interaction fonctionnelle permet de rendre compte de la complexité en biologie et pourquoi un événement local peut avoir une influence à un niveau hiérarchique beaucoup plus élevé. Dans le vivant, un grand nombre d'interactions fonctionnelles sont susceptibles de s'enchaîner de telle sorte qu'elles sont transitives. C'est cette transitivité qui permet de définir l'unité fonctionnelle d'un système à travers les interactions qui l'animent.

L'autre principale caractéristique de l'interaction fonctionnelle est son immanence informationnelle en cela qu'elle est intégrée par le puits. Il n'y a en effet pas ici d'information portée par l'interaction fonctionnelle ; l'information n'est créée que lors de la transduction et se trouve donc dans le puits.

3.2 Mémoire

La mémoire est une propriété organisationnelle de certains systèmes. Elle se fonde sur la capacité d'un état du système à un instant t d'influencer un état du système à un instant t' postérieur.

Ainsi pour citer Bergson elle représente une « conservation et [une] accumulation du passé dans le présent ». ⁸⁴

En tant que fonction, elle n'est pas une faculté propre au vivant mais les modalités de son apparition varient selon le type de système considéré.

D'une manière générale, un système possède une disposition à la mémorisation lorsque l'une de ses parties est susceptible d'adopter une configuration nouvelle par rapport à une configuration de référence et qu'une autre de ses parties évolue de manière conjointe à cette première ce qui va modifier l'évolution globale du système.

Cette conception de la mémoire est intégrative car elle repose sur l'intégration d'un événement à partir de la perception ou du raisonnement. Elle impose de refuser un représentationnalisme mémoriel qui supposerait que mémoriser revient à stocker une séquence de symboles et impose de considérer la mémoire comme une propriété propre de chaque individu pris en tant que système. Il n'y a ainsi pas d'opération de codage dans le cerveau mais des modifications de structure à travers des renforcements de connectivité. ⁸⁵

⁸⁴Henri Bergson. *Matière et mémoire : essai sur la relation du corps à l'esprit*. 8. éd. Paris : F. Alcan, 1912.

⁸⁵Edelman, *Bright air, brilliant fire : on the matter of the mind*.

4 Identité fonctionnelle

La fonction est ce qui constitue l'identité d'un système, c'est à dire qu'elle contient l'ensemble de l'activité de celui ci. On verra qu'elle est la résultante des spécifications de celui ci dans le vivant et leur primitive dans la technique.

4.1 Fonction

La fonction est le produit de la dynamique d'organisation du système biologique. C'est pour cela que l'on peut caractériser un système par ce qu'il fait et, physiologiquement, c'est une partie importante de son identité. Existente ainsi, au sein du corps humain, un système nerveux, un système digestif, un système reproducteur, etc ... Le système digestif est alors l'ensemble d'unités anatomo-physiologiques qui réalise le processus de digestion et c'est parce qu'il le fait qu'il est digestif plutôt que l'inverse. Cette précision peut sembler triviale, mais est en réalité importante en cela qu'elle a trait au problème la distinction vivant-inerte.

Au niveau fonctionnel, cette distinction relève d'un problème téléologique⁸⁶. Dans le vivant, et suivant notre définition des systèmes biologiques, l'organisme est constitué de systèmes spontanément coordonnés. Cette spontanéité est importante car elle se fait suivant le PAAS.⁸⁷

Si l'on prend le cas le plus simple à se représenter, à savoir celui d'un système formé de deux cellules, il paraît difficilement concevable de prêter une finalité quelconque à ce système primitif hormis sa préservation. Un système biologique plus complexe se fonde sur les mêmes principes que notre organisme bicellulaire et n'a donc de finalité hormis sa préservation. La fonction résultant de l'activité du système est alors à comprendre dans l'appartenance de ce système à un niveau fonctionnel supérieur.

Dans les systèmes techniques, c'est l'action du système qui naît de sa fonction. Si un interrupteur interrompt, c'est parce qu'il est conçu *en vue de cela*. Cela tient au fait que les systèmes techniques sont le produit de l'ingénierie⁸⁸.

Au sujet de la relation fonction activité, le mécanisme se trouve dans une position plus complexe. En effet, s'il se place dans une optique athéologique similaire à celle que nous adoptons ici, le fait de considérer l'organisme vivant comme une machine ne peut plus être considéré comme étant un postulat valable. Le behaviorisme de Watson se trouve dans cette position hasardeuse notamment dans *Behaviorism*.⁸⁹ Il est possible d'accorder les deux positions en passant par l'intermédiaire d'un objet théorique que Vaihinger nomme

⁸⁶Au sens littéral d'un discours sur les fins.

⁸⁷Chauvet, *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*.

⁸⁸τεκνε

⁸⁹Watson, *Behaviorism*.

fiction tropique dans *La philosophie du comme si*.⁹⁰ Cela se fait en pratique par le fait de considérer positivement que l'organisme se comporte *comme si* il était une machine, c'est à dire *comme si* l'activité découlait de la fonction. Il s'agit là d'ailleurs de l'usage courant dû *pour* en biologie qui doit bien souvent être lu comme une implication temporelle plutôt que comme l'indice d'une causalité finale.

Cette différence de nature entre les systèmes biologiques et techniques n'est pas neuve et remonte à Aristote. Pour lui, les objets créés par l'artisan sont dotés d'une forme par cet artisan en vue d'un usage, la forme découle donc de la fonction. De l'autre côté, le vivant possède un type de forme particulier qui est l'âme et qui détermine l'organisation de la matière,⁹¹ c'est donc de la forme que dérive la fonction.

4.2 Environnement

Si l'homme est considéré comme un système et que les systèmes vivants et inertes sont susceptibles de communiquer⁹², alors l'individu forme un système avec son environnement. Dans la mesure où c'est cet environnement qui pourvoie à la perpétuation de l'existence de ses membres, si l'on reprend les termes de Chauvet, ce système est lui même biologique aussi bien que vivant.

Ainsi le vivant serait la seule véritable entité biologique relativement autonome qui existe dans la nature.

Cette conclusion est elle problématique ? Prise sans contexte aucun, elle signifierait que chaque individu n'est qu'une partie fonctionnelle d'un tout organisé qui constitue le seul véritable individu. Il faut néanmoins se rappeler des propriétés fondamentales de l'interaction fonctionnelle qui régissent l'organisation de ce tout ; elles sont non locales, non symétriques et surtout décrivent une causalité événementielle. Alors l'individu, s'il n'est pas autonome⁹³ dispose tout de même d'une mobilité⁹⁴ relativement conséquente.

Le système formé par un individu et son environnement sera alors baptisé hypersystème. Cet hypersystème est un être vivant d'un type particulier ; étant constitué par les relations fonctionnelles entre l'individu et son environnement, son unité fonctionnelle est liée de manière prépondérante à ce premier.

L'hypersystème vivant possède des propriétés particulières. En effet, l'environnement est partagé par la totalité des individus. Nous retrouvons alors la notion classique d'écosystème, mais sommes obligés de la modifier car l'écosystème est la partie de l'environnement qui est commune aux hypersystèmes vivants.

⁹⁰Hans Vaihinger. *La philosophie du comme si*. Trad. par Christophe Bouriau. Editions Kimé, 2008.

⁹¹Aristote. *De l'âme*. Trad. par Richard Bodéus. Flammarion, 1993.

⁹²Au sens simondonien de la chose.

⁹³Au sens fort du terme, c'est à dire qu'extrait de son environnement il ne saurait se maintenir en vie.

⁹⁴Le concept est ici pris dans un sens original d'autonomie relative.

Comme on l'a vu, chaque hypersystème possède, en propre, des relations fonctionnelles internes. Ceci est le fondement de la subjectivité et des problèmes qui découlent de cette dernière⁹⁵. Toute communication entre deux individus va être en fait une communication entre les parties ouvertes de deux hypersystèmes.

4.2.1 La question behavioriste

Le behaviorisme repose sur deux objets conceptuels fondamentaux ; le stimulus et la réponse. Dès les travaux de Watson et notamment dans *Behaviorism*⁹⁶ il se pose comme une métaphysique en posant la notion de comportement comme celle des réactions observables d'un organisme en relation profonde avec un milieu. Les termes de stimulus et réponse ont vite été adoptés pour décrire cette relation, mais la doctrine mécaniste sous-jacente à cette théorie tend à nous les faire remplacer par ceux d'influents et ex-fluents.

L'individu, dans la théorie behavioriste, est un point singulier. L'environnement exerce des stimulus sur lui (d'où l'influence), mais en contrepartie va être influencé à son tour par le comportement de l'individu, ce qui constitue une exfluence⁹⁷. Ces termes rendent mieux compte de la dynamique de pensée du behaviorisme dans la mesure où seul l'environnement est mobile. En ce sens, le behaviorisme est un environnementalisme à part entière et c'est là ce qui constitue une grande partie de son succès.

⁹⁵On retrouve alors la notion simondonienne de transduction qu'il développe dans le *mode d'existence des objets techniques* (Gilbert Simondon. *L'individu et sa genèse physico-biologique : l'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*. Épiphanée ; essais philosophiques. Paris : Presses universitaires de France, 1964) et qui recoupe les propriétés de l'interaction fonctionnelle posées en 3.1.1.

⁹⁶Watson, *Behaviorism*.

⁹⁷Le néologisme est construit ici en opposition au principe fondamental de l'influence de l'environnement sur l'individu.

5 Bilan

Ce que l'on perçoit bien dans l'énoncé des différentes positions utilisables dans l'analyse de l'humain machine c'est que le caractère transdisciplinaire du domaine est important. Cela rend nécessaire d'adopter une approche que nous appellerons ici intégrativisme et qui se compose à la fois de biologie, à travers les travaux de Chauvet, de neurosciences, de technologie et de psychologie. En effet, dans notre domaine, les approches recensées ici n'offrent des réponses que sur certains fragments des problématiques soulevées et les adapter dans un ensemble théorique propice à l'analyse du domaine engendre un ensemble hétérogène.

On trouvera dans le tableau suivant une synthèse de nos recherches bibliographiques. Ce tableau vise à établir une grille de comparaison des positions canoniques qu'adoptent les courants étudiés lorsqu'ils sont appliqués au domaine de l'humain machine.

Chaque ligne du tableau représente un item que nous avons rencontré dans nos recherches et chaque colonne représente un courant théorique. Ainsi, l'intersection d'une ligne et d'une colonne contient une définition succincte de ce que représente l'item pour un courant canonique particulier.

Grille comparative des différentes positions

		Behaviorisme	Cognitivisme	Connexionisme	Cybernétique	Intégrativisme
Individu	Corps	Organes sensoriels + Organes effecteurs + Système nerveux ⁹⁸	Ordinateur biologique + Organes sensoriels ⁹⁹	Réseau de neurones + Corps ¹⁰⁰	Systèmes régulés par des boucles de rétroaction ¹⁰¹	Systèmes métastables autoassociés ¹⁰²
	Esprit	Langage subvocal articulé + Mémoire ¹⁰³	Traitement symbolique, spécialisé et centralisé de l'information + Mémoire ¹⁰⁴	Ensemble de motifs d'activation émergents dans le réseau non centralisé ¹⁰⁵	Traitement décentralisé de l'information + Mémoire	Pensée (au sens Jamesien) ¹⁰⁶
Architecture		Mécanique ¹⁰⁷	Modules indépendants gérés par une unité centrale ¹⁰⁸	Architecture du réseau	Réseau de boucles de régulation ¹⁰⁹	Biologique
	Constitution	Conditionnement ¹¹⁰	/	Renforcement	/	Auto Association Stabilisatrice ¹¹¹
	Élément	Sous-unité spatiale	Module ¹¹²	Partie connexe du réseau ¹¹³	Boucle de régulation ¹¹⁴	Sous-unité fonctionnelle
Comportement		Réaction articulée à un stimulus extérieur ¹¹⁵	Résolution de problème	/	Retour à l'équilibre ¹¹⁶	
	Cognition	Réaction articulée à un stimulus extérieur ¹¹⁷	Manipulation de symboles à partir de règles pour résoudre un problème extérieur	Activation d'un motif adéquat à la résolution d'un problème extérieur ¹¹⁸	/	Catégorisation par réentrées thalamocorticales ¹¹⁹
	Perception	Prise de connaissance d'un stimulus extérieur ¹²⁰	Acquisition d'information ¹²¹	Acquisition d'information	Perturbation par l'environnement ¹²²	Intégration de données sensibles ¹²³
	Action	Réaction articulée à un stimulus extérieur ¹²⁴	/	/	Recherche d'équilibre ^{125 126}	
Évolution		Processus mécanistes ¹²⁷	Séquences algorithmiques	Séquences d'activation	Retour à l'équilibre ¹²⁸	Interactions des sous-systèmes
	Interaction	Action et réaction dans l'environnement ¹²⁹	/	/		Couplage transductif ^{130 131}
	Mémoire	Faculté de l'esprit ¹³²	Faculté de l'esprit	Schémas d'activation	/	Recatégorisation ¹³³
Fonction		Pas de fonction ¹³⁴	Liée à un module ¹³⁵	/	Régulation ^{136 137}	Résultante de l'activité d'un système
Communication		Inter-individuelle ¹³⁸	Théorie de l'information	Signal physico-chimique	Théorie de l'information ^{139 140}	Interaction fonctionnelle ¹⁴¹
Environnement		Source de stimulus ¹⁴²	Source d'information et de problèmes	Source d'information et de problèmes	Source de perturbation	Hypersystème

Deuxième partie

Validation expérimentale

6 Hypothèses de travail

Les ingénieurs et les médecins forment une part importante des concepteurs de l'homme machine. Ils sont respectivement experts dans les systèmes techniques et les systèmes biologiques et plus particulièrement dans leurs organisations.

De plus le monde médical peut grandement profiter du modèle que propose la position intégrativiste dans la mesure où elle peut, entre autres, permettre la conception de dispositifs d'information plus avancés que ceux disponibles aujourd'hui. Le médecin tend donc à sa trouver à la fois à la place du concepteur et de l'utilisateur ce qui en fait naturellement la cible principale de notre enquête.

Ce qu'ont en commun ces deux secteurs est la très forte dimension pratique ($\tau\epsilon\kappa\nu\epsilon$) qu'ils présentent. Cette dimension pratique tend à relativiser le poids de la théorie et peut donc parfois mener à des présuppositions contraires aux fondements des courants de pensée dans lesquels ils s'inscrivent.

Le but de cette enquête est d'effectuer une étude de ces milieux ingénieriaux et médicaux afin de déterminer s'il existe aujourd'hui des positions théoriques tacites en relation avec notre problématique de l'homme machine qui conditionnent les pratiques de l'ingénierie ou du monde médical.

D'un autre côté, ces conclusions pourront nous permettre d'évaluer la perméabilité de ces milieux à une nouvelle théorie ; s'il n'existe pas de courant théorique fortement suivi, notre position sera plus à même de leur profiter que dans le cas contraire. De la même manière, l'identification de positions théoriques familières avec notre approche constituerait un résultat encourageant pour celle ci.

7 Protocole

Le protocole de l'enquête repose sur un questionnaire construit à partir de certains points saillants de la grille comparative des courants (voir page 24).

7.1 Conception du questionnaire :

Pour des raisons relatives au temps disponible de chaque sujet, nous avons décidé de limiter le nombre de questions à 25, afin que le questionnaire puisse être complété en moins d'une demi-heure.

Il a été également prévu de répertorier l'âge, le sexe et la profession des sujets afin de pouvoir diversifier nos critères d'analyse dans la mesure où l'évolution des courants théoriques dans l'enseignement supérieur peut avoir un impact sur les positions tacites tenues dans une classe d'âge ce qui pourra nous permettre de distinguer une éventuelle évolution des mentalités.

Les 25 questions prennent la forme d'un item de Lickert à 5 positions.¹⁴³ Cet objet psychométrique présente l'intérêt de susciter une prise de position vis-à-vis d'une proposition selon une gamme proprement prédéfinie.

Cette gamme de positions est symétrique par rapport à son membre central qui représente l'absence de prise de position du sujet quant à la proposition soumise. Cette absence de prise de position peut signifier une non-compréhension de la proposition ou bien une absence réelle d'avis de la part du sujet, c'est pour cela que nous validons le questionnaire avec un sujet-expert.

L'état idéal des réponses serait bien évidemment qu'il y ait le moins possible d'avis neutre. Cet objet pourra également nous permettre de discriminer les résultats dans une certaine mesure ; si un sujet possède un avis neutre sur un nombre trop grand de propositions, celle-ci va nous faire courir le risque de brouter les résultats dans la mesure où les liens entre les propositions sont relativement importants.

Pour éviter les biais dû à la perception des catégories de questions, nous avons rendu leur ordre aléatoire en utilisant le programme décrit en Annexe B afin de générer une série de 25 positions aléatoires.

Nous terminons le questionnaire par une question facultative ouverte permettant au sujet de fournir 5 mots clés que lui évoque la notion d'homme augmenté. Cette question va nous permettre d'apporter une dimension qualitative à notre étude en mesurant le caractère positif ou négatif de la représentation que se font les sujets de notre domaine.

7.2 Diffusion du questionnaire

Le questionnaire est distribué par la plateforme sondages.inria.fr mise à disposition par l'INRIA pour les besoins de la recherche. Cette plateforme est basée sur le logiciel Lime-

¹⁴³Rensis Likert. « A technique for the measurement of attitudes. » In : *Archives of psychology* (1932).

survey¹⁴⁴ qui permet une exportation des résultats dans R¹⁴⁵.

La plateforme permet également de garantir l'anonymat des sujets et est protégée par une connexion chiffrée. De plus, nous ne prenons aucune information concernant l'ip des sujets ou même une identification par cookie dans ce même souci d'anonymat.

Nous diffusons le questionnaire à partir du Jeudi 10 Juillet 2014 et le clôturons le 25 Juillet 2014. La diffusion s'est faite à partir de certaines listes de diffusion ([tousloria],[ergoihm],[info-ic]) ainsi que la société française de réanimation.

7.3 Traitement et analyse des données

On considère notre population comme représentative à partir du moment où nous aurons obtenu 30 sujets dans nos deux catégories principales. Bien entendu, nous continuons à laisser le questionnaire ouvert jusqu'à la date de clôture afin d'avoir un maximum de données possible.

7.3.1 Démographie et regroupement des sujets

La question relative à l'activité du sujet va nous permettre de scinder la population en trois catégories :

- La première catégorie est celle des concepteurs de l'humain machine ; elle regroupe les informaticiens, ingénieurs et ergonomes, elle sera nommée "ingénieurs".
- La deuxième catégorie est celle des utilisateurs de l'humain machine ; elle regroupe les praticiens, elle sera nommée "médecins".
- La troisième catégorie comprend les sujets ne rentrant pas dans les deux précédentes et constitue un public non expert, elle sera nommée "autres".

Ce découpage en catégories est utile dans la mesure où il va nous permettre de percevoir l'existence d'un éventuel fossé idéologique entre concepteurs et utilisateurs en mesurant la corrélation entre leurs prises de position.

Dans le cas où ce fossé n'existerait pas, nous fusionnerons alors les deux groupes.

L'utilisation d'une catégorie non experte va nous permettre d'élargir ces conclusions et d'établir un lien éventuel entre expertise et idéologie¹⁴⁶.

En dehors de ces considérations, les deux questions concernant le sexe et l'âge du sujet vont nous permettre de vérifier la représentativité de notre ensemble de réponses.

¹⁴⁴<http://www.limesurvey.org/>

¹⁴⁵version 3.0.2. Disponible à l'adresse : <http://www.R-project.org>

¹⁴⁶Sous réserve qu'un nombre suffisant de sujet entre dans cette catégorie.

Il serait ainsi idéal d'avoir un ratio de $\frac{1}{2}$ en ce qui concerne le sexe et l'âge des sujets devrait idéalement couvrir un spectre allant de 20 à 65 ans.

7.3.2 Traitement des propositions

L'ensemble des réponses aux questions B1 à B25 se présente comme une série de 25 variables discrètes pouvant prendre les valeurs suivantes :

- Pas du tout d'accord : -2
- Pas d'accord : -1
- Sans avis : 0
- Plutôt d'accord : 1
- Pleinement d'accord : 2

La première hypothèse à tester aura trait à la cohérence idéologiques des réponses. Cela se fera en mesurant les corrélations deux à deux des variables B1 à B25.

Le fait de se baser sur une grille d'analyse conceptuelle nous permet de comprendre les ensembles de réponse pour un groupe de population déterminé.

7.3.3 Mots clés

La dernière question nous permet d'évaluer la notion d'homme augmenté suivant une perspective émotionnelle. S'il est intéressant de comprendre les idéologies sous-jacentes aux pratiques relatives à l'homme augmenté, il est important de pouvoir comprendre les relations des sujets à la notion centrale de notre étude.

Les questions B1 à B25 permettent de qualifier la compréhension du domaine par les sujets mais cette compréhension est émotionnellement neutre, du moins le questionnaire est conçu afin qu'elle le soit le plus possible. Toutefois la dimension émotionnelle est importante dans notre domaine car il est très différent (et il s'agit là d'un aspect idéologique majeur) de considérer l'homme augmenté comme un danger plutôt que comme un développement souhaitable de la technique.

8 Résultats

L'analyse des résultats sur les questions B1 à B25 va porter sur la caractérisation de groupes fortement identifiés. Un groupe fortement identifié est un groupe de la population générale

qui se distingue d'autres groupes par une tendance commune forte dans ses réponses à un ensemble de propositions. En analysant cet ensemble déterminant, il est possible de déterminer quelle est la position théorique tenue par le groupe étudié.

Le cas le plus simple et qui est, a priori, le moins probable est celui dans lequel la population générale constitue un groupe fortement identifié.

8.1 Eléments descriptifs de la population générale

À la clôture de l'enquête, 150 réponses complètes¹⁴⁷ ont été enregistrées ce qui dépasse largement nos objectifs.

Au sein de la population des participants à l'enquête, on s'aperçoit que le ratio Hommes-Femmes est de 2 pour 1 en faveur des hommes (voir 4) ce qui est relativement cohérent avec la représentation des femmes dans la recherche en France¹⁴⁸. Concernant la répartition des âges, la pyramide (3 nous montre que pour chaque sexe, la majorité des participants a entre 18 et 55 ans avec un pic pour les participants entre 25 et 30 ans.

Ces répartitions sont intéressantes car elles nous permettent d'affirmer que la population générale des participants à l'enquête correspond de manière qualitative à la population visée.

En ce qui concerne les différentes catégories de profil que notre enquête cherchait à toucher, on verra sur la figure 5 qu'elle représentent chacune un effectif de taille similaire. Le fait qu'une quantité non négligeable de participants n'aient pas indiqué la spécialité de leurs études¹⁴⁹ laisse le doute sur leur appartenance au groupe des praticiens ou à celui des concepteurs.

Il est à noter que ce découpage en populations n'impacte pas notre étude mais vise à évaluer qualitativement nos résultats à travers l'analyse de notre population générale .

8.2 Procédures utilisées

8.2.1 Analyse en composantes principales

L'ACP¹⁵⁰ est une méthode d'analyse factorielle, en cela elle permet de décrire un ensemble de variables observées par un nombre réduit de variables nouvelles. D'un point de vue pra-

¹⁴⁷Seuls les sujet ayant répondu à toutes les questions sont pris en compte ici.

¹⁴⁸voir (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. *État des lieux : Les Femmes dans la Recherche*. Rapp. tech.)

¹⁴⁹Malgré la demande stipulée dans la question 3, certains étudiants ont uniquement renseigné leur activité comme "étudiant".

¹⁵⁰Analyse en composantes principales

tique, elle possède l'intérêt majeur de permettre de décrire une matrice individus-variables sans avoir recours à des hypothèses statistiques.

Les variables : Ce que nous considérons comme variables dans le cas présent sont les éléments B1 à B25 qui correspondent aux propositions soumises aux participants à l'enquête. Pour les besoins de la méthode, nous avons transformé les réponses textuelles en valeurs quantitatives discrètes selon l'échelle décrite au paragraphe 6.3.2.

L'examen du plan factoriel permet de visualiser les corrélations entre les variables. La méthode permet de visualiser les distances réelles entre variables actives et, par là même, leurs corrélations. L'analyse s'intéresse aux variables présentant les coordonnées les plus élevées et les composantes principales sont définies en fonctions de la possibilité de grouper certaines variables selon leur corrélation.

La position des variables étant issue d'une projection sur un plan, on se garde d'interpréter des proximités entre points qui ne sont pas proches de la circonférence du cercle de corrélation. En effet, deux point lointains de la circonférence du cercle peuvent apparaître proches mais être en réalité très éloignés.

Ainsi, nous effectuons une ACP sur une population en posant l'hypothèse H_0 selon laquelle l'absence de composante principale significativement distinguable reflète l'existence de groupes au sein de la population d'individus¹⁵¹. Cette hypothèse s'oppose à l'hypothèse H_1 selon laquelle l'existence d'une composante principale pertinente permet de définir un ensemble de réponses fortement influencé par un groupe de variables déterminées.

Ce qui nous intéresse le plus lors de l'ACP sur les variables est alors la corrélation positive qui peut exister entre certains groupes de variables. Nous figurons l'âge dans le graph de l'ACP à titre informatif, il n'est pas pris en compte dans le calcul.

8.2.2 Classification hiérarchique ascendante

Cette méthode permet de diviser la population en différents ensembles de classes homogènes. L'algorithme fournit une hiérarchie de partitions qui prend la forme d'un dendrogramme dans lequel chaque classe est un élément de la classe de niveau supérieur.

Pour comprendre le fonctionnement de l'algorithme, il est nécessaire de comprendre la notion d'indice d'agrégation. Cet indice représente la distance euclidienne dans le plan de projection des individus. On va ainsi regrouper à chaque itération les individus les plus proches entre eux puisque ils sont ceux qui sont définis par des vecteurs similaires.

Le nombre optimal de groupes est déterminé par la variation de l'inertie¹⁵² exprimée par

¹⁵¹Hypothèse d'hétérogénéité du groupe.

¹⁵²Parfois appelée eigenvalue.

les axes. Cette variation de l'inertie permet de déterminer le nombre d'axes pertinents pour l'analyse dans la mesure où son décrochement représente une forte perte d'inertie.

8.2.3 Graphe des corrélations

L'ensemble de réponses B1 à B25 est caractérisé par l'utilisation d'une même échelle qualitative discrète imposée par l'utilisation des items de Lickert. Par conséquent, Il est possible pour chaque couple de variables d'effectuer un test de χ^2 d'homogénéité¹⁵³ afin de déterminer l'existence d'une corrélation entre elles. En répétant ce test pour l'ensemble des variables¹⁵⁴ on obtient une matrice des corrélations 2 à 2 de nos variables. Nous noterons ici que seule l'existence de la corrélation nous intéresse.

Il devient alors possible de convertir cette matrice des corrélations 2 à 2 en un graphe non dirigé. On traite alors ce graphe à l'aide du logiciel Gephi¹⁵⁵ afin de le représenter de telle manière que les 5 variables les plus corrélées à d'autres soient dans le cercle central. Plus une variable sera directement corrélée à d'autres, plus le diamètre du point qui la représente sera grand. De la même manière plus elle sera directement corrélée à d'autres, plus ce point sera rouge.

Les points dans chacun des cercles sont ordonnés dans le sens horaire en fonction du nombre de corrélations directes de la variable représentée.

Cette représentation permet de se faire une idée synthétique de l'ensemble des réponses. En effet, une variable du cercle intérieur fait partie des 20% les plus corrélées avec d'autres ce qui signifie qu'une modification de sa valeur entraîne une modification significative de l'ensemble des réponses pour un individu.

De manière similaire, un point isolé représente une variable n'influençant pas sur l'ensemble des résultats.

Cette représentation permet alors de percevoir la qualité des données ; plus la connexité du graphe des corrélations est élevée, plus l'ensemble de réponses qu'il représente est cohérent. Un graphe de connexité nulle représente alors une population dans laquelle chaque individu a répondu au hasard à toutes les questions.

¹⁵³Nous réalisons ce test avec une p-value de 5%.

¹⁵⁴Ayant dans le cas présent 25 variables, il est théoriquement nécessaire de répéter $25^2 = 625$ fois le test. Toutefois, la corrélation d'une variable avec elle-même étant nécessairement positive on peut réduire ce nombre à 600. De manière similaire si le test montre l'existence d'une corrélation pour la paire (B_x, B_y) nous retrouverons cette corrélation pour la paire (B_y, B_x) ce qui permet de réduire le nombre répétitions du test à 300 par effectif de population.

¹⁵⁵Version 0.8.2 beta pour osX, <https://gephi.github.io>

8.3 Analyse de la population générale

8.3.1 ACP

Le cercle de corrélations est représenté par la figure 7.

L'évolution de l'inertie, représentée par la figure 6, montre un décrochage entre l'axe 1 et l'axe 2, ce qui permet de ne retenir que ces deux axes pour l'analyse.

Ce qui ressort de cette analyse est qu'aucun point n'est suffisamment proche du cercle pour être corrélé à une composante principale. De la même manière il est impossible de conclure sur les corrélations entre variables.

Ainsi, l'hypothèse d'hétérogénéité de la population est retenue ici et l'analyse des résultats doit continuer par l'ACP sur les groupes définis par la catégorisation hiérarchique.

8.3.2 Catégorisation

Le dendrogramme est représenté par la figure 9.

L'évolution de l'inertie permet de diviser la population selon les deux distinctions de plus haut niveau. Cela montre donc l'existence de trois groupes homogènes au sein de la population générale ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'hétérogénéité.

8.3.3 Graphe des corrélations

Le graphe des corrélations est représenté par la figure 8.

Il est composé d'une composante connexe unique et possède une densité de 0,457 ce qui signifie que près de 46% des arrêtes possibles représentent une corrélation. Cela permet d'affirmer que l'ensemble des réponses est effectivement déterminé par un ensemble de corrélations entre les variables et que l'absence de composante principale significative n'est pas due à des réponses au hasard.

8.3.4 Bilan

L'analyse de la population générale montre son hétérogénéité forte. Elle se compose d'au moins trois groupes distincts déterminés par des ensembles de variables différents.

8.4 Analyse du groupe 1

Le groupe 1 est constitué de 71 individus.

ACP

La figure 10 montre un décrochage entre les axes 2 et 3 ce qui nous incite à étudier les axes 1 et 2. Les résultats sont montrés dans la figures 11.

Ici encore, aucun point n'est suffisamment près du cercle pour être considéré comme pertinent mais la morphologie des projections est différente de celle de la population générale. On perçoit ici des groupes de variables bien déterminés mais celles ci ne sont pas suffisamment bien représentées pour pouvoir en tirer des conclusions.

Catégorisation

L'évolution de l'inertie permet de diviser la population selon les deux distinctions de plus haut niveau et ainsi de diviser ce groupe en trois sous groupes homogènes ce qui correspond au maintien de l'hypothèse d'hétérogénéité.

Graphe des corrélations

Le graphe du groupe 1 (figure 13 est composé d'une unique composante connexe et possède une densité de 0,263. Cela permet d'affirmer que l'ensemble des réponses demeure cohérent.

Bilan

Le groupe 1 (71 individus) se trouve dans la même situation que la population générale, il est toujours hétérogène et se compose de trois groupes distincts. Nous poursuivrons l'analyse sur ces groupes nommés 1a, 1b et 1c.

Groupe 1a : Ce groupe est composé de 17 individus.

La figure 15 montre que la première composante principale est corrélée négativement à q16 et q18 et positivement à q5 et q1. Q14 et q23 sont totalement corrélées. Q6, q11, q17, q14, q5, q12 et q19 sont fortement corrélées. Cela permet de rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité.

Groupe 1b : Ce groupe est composé de 23 individus.

La figure 20 montre l'absence de variable bien représentée dans le cercle de corrélation du groupe permet de confirmer l'hypothèse d'hétérogénéité. La catégorisation nous montre que seul le groupe 1bf peut être étudié avec l'ACP.

Groupe 1bf : Le groupe 1bf est composé de 8 individus. La figure 23 montre que la première composante principale est fortement corrélée positivement avec les variables q1 et q7 et fortement corrélée négativement avec la variable q6. Q9 et q18 sont fortement corrélées, de même que q2 et q5 ou q3 et q24. q4, q8 et q14 sont corrélées.

Nous pouvons rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité.

Groupe 1c : Ce groupe est composé de 31 individus.

Le cercle de corrélation des variables dans le groupe 1c ne permet pas de valider l'hypothèse d'homogénéité¹⁵⁶. Étant donné que la catégorisation hiérarchique permet de diviser ce groupe, nous allons poursuivre l'étude sur les groupes 1ca, 1cb, 1cd et 1ce¹⁵⁷

Groupe 1ca : Le groupe 1ca est composé de 4 individus.

L'analyse du cercle de corrélation visible, sur la figure 31, permet de réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité. Au sein de ce groupe, les variables q2, q7 et q10 sont totalement corrélées. Les variables q12 et q20 sont totalement corrélées entre elles ainsi qu'avec q13. Les variables q3 et q16 sont totalement corrélées. On constate également une corrélation entre les variables q1, q21 et q8 ainsi qu'entre q9 et q24.

La seconde composante principale est totalement corrélée avec q19 et avec l'âge.

Les variables q11, q15, q22 et q25 sont totalement corrélées entre elles mais ne participent pas à l'ensemble des résultats.

Groupe 1cb : Le groupe 1cb est constitué de 4 individus.

La figure 35 monte que la première composante principale est positivement corrélée à q18 et négativement corrélée à q7 et q10.

La seconde composante principale est fortement corrélée positivement à q16 et négativement corrélée à q12 et q20.

¹⁵⁶28

¹⁵⁷Le groupe 1cc est un individu isolé, et il n'est donc pas étudiable en tant que groupe.

Q14 et q24 sont totalement corrélées entre elles de même que q1 et q8 ainsi que Q9, q6 et q11.

Groupe 1cd : Au sein du groupe 1cd (9 individus), seules les variables q2 et q24 sont bien représentées.

Nous pouvons réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité sur cette base, bien que l'homogénéité de ce groupe soit moindre que dans d'autres groupes.

Groupe 1ce : Ce groupe est composé de 11 individus.

Il n'y a pas de variables bien représentées dans l'ACP du groupe 1, ce qui est visible dans la figure 42, ce qui nous incite à affirmer l'hypothèse d'hétérogénéité.

8.5 Analyse du groupe 2

Le groupe 2 se compose de 22 individus.

ACP

La figure 45 montre un décrochage entre les axes 1 et 2 ce qui nous incite à les étudier. Les résultats sont montrés dans la figure 46.

Des corrélations semblent apparaître sur la figure 46 mais la proximité des points avec le cercle empêche de les considérer comme pertinentes et nous incite à affirmer l'hypothèse d'hétérogénéité.

Catégorisation

L'évolution de l'inertie permet de diviser la population selon les deux distinctions de plus haut niveau et ainsi de diviser ce groupe en trois sous-groupes homogènes ce qui correspond au maintien de l'hypothèse d'hétérogénéité.

Graphe des corrélations

Le graphe du groupe 2 (figure 48) est composé de quatre composantes connexes et possède une densité de 0,1. Au sein de ce groupe, on constate donc que les variables B16, B6 et B4 n'influencent pas sur l'ensemble des réponses.

Bilan

Le groupe 2 se trouve dans la même situation que le groupe 1, il est hétérogène et se compose de trois groupes distincts. Toutefois, il diffère de ce dernier dans la mesure où certaines variables n'influent sur aucune réponse.

Groupe 2b : Le groupe 2b (12 individus), montre une corrélation négative entre la seconde composante principale et la variable q4 comme le montre la figure 50.

Les variables q7, q12, q10, q2 et q23 sont fortement corrélées entre elles. Les variables q1, q14 et q22 sont fortement corrélées entre elles. Les variables q15, q18, q19 et q21 sont fortement corrélées entre elles.

Ces résultats incitent à réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité.

Groupe 2d : Le groupe 2d (6 individus) est fortement déterminé. La figure 55 montre que la première composante principale est fortement corrélée à q3 et q12 alors que la première l'est avec q14. Les variables q9 et q21 sont totalement corrélées entre elles, de même que q16 et q18.

On peut réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité pour ce groupe.

8.6 Analyse du groupe 3

Le groupe 3 se compose de 57 individus.

ACP

La figure 59 montre un décrochage entre les axes 1 et 2 ce qui nous incite à les étudier. Les résultats sont montrés dans la figures 60.

Des corrélations semblent apparaitre sur la figure 60 mais la proximité des point avec le cercle empêche de les considérer comme pertinentes.

Catégorisation

L'évolution de l'inertie permet de diviser la population selon les deux distinctions de plus haut niveau et ainsi de diviser ce groupe en trois sous groupes homogènes ce qui correspond au maintien de l'hypothèse d'hétérogénéité.

Graphe des corrélations

Le graphe du groupe 3 (figure 62) est composé d'une seule composante connexe et possède une densité de 0,183. Toutes les variables sont au moins liées à une variable ce qui constitue un ensemble cohérent de réponses.

Bilan

Le groupe 3 se trouve dans la même situation que le groupe 1, il est hétérogène et se compose de trois groupes distincts.

Groupe 3a : Ce groupe se compose de 23 individus.

Il n'y a aucune variable bien représentée dans le cercle des corrélations (figure 64), nous confirmons alors l'hypothèse d'hétérogénéité.

Groupe 3ac : Le groupe 3ac est le seul groupe de taille suffisante (9 individus) pour effectuer l'analyse dans le groupe 3a.

La figure 67 montre que la première composante principale est positivement corrélée à q6, q7 et q16 et négativement corrélée à q11. Q3, q4 et q25 sont corrélées entre elles de même que q1, q13, q14 et q19.

On peut alors réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité dans ce groupe.

Groupe 3b : Le cercle de corrélations du groupe 3b (7 individus) présente des variables bien représentées.

La figure 72 montre que la première composante principale est corrélée positivement à q12 et q17 et négativement à q7, q10 et q14. Q1 et q25 sont corrélées entre elles. Q4 et q8 sont totalement corrélées.

On peut rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité.

Groupe 3c : Ce groupe se compose de 27 individus.

La figure 77 montre que le cercle de corrélation du groupe 3c permet de d'affirmer l'hypothèse d'hétérogénéité. On peut diviser ce groupe en 9 sous groupes mais seuls les groupes 3cd, 3ce et 3ci sont suffisamment grands pour être analysés.

Groupe 3cd : Ce groupe est composé de 4 individus.

La figure 80 montre que la première composante principale est fortement corrélée à q1. Q2, q7, q10 et q16 sont totalement corrélées entre elles. Q21 q22 et q9 sont fortement corrélées entre elles.

On peut rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité dans ce groupe.

Groupe 3ce : Ce groupe est composé de 5 individus.

La figure 84 montre que la seconde composante principale est fortement corrélée négativement avec q12. Q7, q8 et q14 sont corrélées. Q16 q10 et Q18 sont corrélées entre elles. Q11 et q19 sont totalement corrélées.

On peut rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité dans ce groupe.

Groupe 3ci : Ce groupe se compose de 6 individus.

La figure 88 montre que Q4, q12 et q16 sont fortement corrélées. Q8, q10 et q18 sont fortement corrélées. Q5 et q24 sont fortement corrélées. q17 et q25 sont totalement corrélées, de même que q2 et q21 ou q1 et q9. Q6, q11 et q14 sont totalement corrélées.

On peut rejeter l'hypothèse d'hétérogénéité dans ce groupe.

8.7 Groupes fortement déterminés

Grâce à l'ACP, nous pouvons déterminer la liste des groupes fortement déterminés, c'est à dire ceux pour lesquels on peut réfuter l'hypothèse d'hétérogénéité :

- 1a
- 1bf
- 1ca
- 1cb
- 1cd
- 2b
- 2d
- 3ac
- 3b

- 3cd
- 3ce
- 3ci

8.8 Analyse des réponses

Grâce à l'ACP, nous avons pu caractériser des groupes fortement déterminés. Pour pouvoir les attacher à une position théorique il faut désormais analyser les réponses de ces groupes. Cela est fait par l'examen de la médiane à travers l'analyse des boxplots de chaque série de réponse. On considérera comme intéressante une variable pour laquelle la différence entre le 3ème et le premier quartile est nulle, c'est à dire pour laquelle la boîte est resserrée autour de la médiane.

L'examen des graphes de corrélation (figures 18, 26,34,41,53,58,70,75,83,87 et 91) permet de déterminer les réponses les plus importantes dans chaque groupe, ce résultat nous permettra de raffiner notre lecture des résultats. Une proposition correspondant à une variable importante sera en gras.

Un raffinement de cette lecture est possible en étudiant les réponses moins tranchées.

Grâce à la grille des positions, il est possible de caractériser ces ensembles de variable.

Groupe 1a (Figure 17)

Ce groupe considère qu'une machine peut être comparée à un organe, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son corps, qu'un organe peut être considéré comme une machine, que le raisonnement peut être considéré comme le résultat d'un calcul logique, qu'il est absolument impossible d'étudier un individu en faisant abstraction de ses interactions avec l'environnement, qu'il y a une transformation de l'information lors de la perception, que **le comportement peut être considéré comme une résolution de problème**, que **l'on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions** et que l'environnement est uniquement une source de stimulus.

Cette position s'apparente à une position cognitiviste forte.

Groupe 1bf (Figure 25)

Ce groupe considère que **le comportement n'est pas uniquement une réaction à un stimulus extérieur**, qu'il n'est pas possible d'étudier le comportement d'un individu

sans tenir compte de son corps, que le comportement d'un individu peut être vu comme une résolution de problème, que l'environnement peut être vu uniquement comme une source de stimuli, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son système nerveux, que **l'on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions**, qu'on ne peut pas rendre compte de l'intégralité de la pensée au moyen de la logique mathématique, qu'il y a une transformation de l'information sensorielle lors de la perception et qu'**une information provenant de l'environnement peut être considérée comme un stimulus**.

Cette position s'apparente à une position cognitiviste modérée.

Groupe 1ca (Figure 33)

Ce groupe considère qu'une machine peut être comparée à un organe, que **la principale fonction du cerveau n'est pas de traiter l'information provenant de la perception**, qu'il n'est pas possible d'étudier un individu sans tenir compte de ses interactions avec l'environnement, qu'une cellule vivante peut être comparée à une machine, qu'un modèle décrivant l'homme augmenté ne doit pas nécessairement être d'inspiration biologique, qu'un organe peut être comparé à une machine, que le comportement n'est pas une résolution de problème, que l'environnement n'est pas uniquement une source de stimuli, qu'on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions, qu'on ne peut pas rendre compte de la pensée avec la logique mathématique, qu'il y a une transformation de l'information sensorielle lors de la perception, qu'**une information provenant de l'environnement peut être considérée comme un stimulus** et que l'augmentation n'impose pas une profonde modification de la personne.

Cette position s'apparente à une position cognitiviste.

Groupe 1cb (Figure 37)

L'état des réponses de ce groupe n'est pas propice à leur description.

Groupe 1cd (Figure 40)

Ce groupe considère que la principale fonction du cerveau est de traiter l'information provenant de la perception, qu'**il n'est pas possible de tenir compte du comportement d'un individu sans tenir compte de son corps**, qu'une cellule vivante peut être comparée à une machine, que le comportement est une résolution de problème, qu'on peut voir le cerveau comme une unité centrale de type informatique, qu'on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions, que la perception n'est pas

une acquisition passive d'information, que l'augmentation de capacité conduit à la robotisation, que la restauration de capacité est une augmentation, qu'on ne peut pas rendre compte de la pensée avec la logique mathématique, et qu'**une information provenant de l'environnement peut être considérée comme un stimulus.**

Cette position s'apparente à une position connexionniste.

Groupe 2b (Figure 52)

Ce groupe considère qu'une machine peut être comparée à un organe, qu'il est absolument impossible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son corps, que le raisonnement est le résultat d'un calcul logique, qu'il est absolument impossible d'étudier un individu sans étudier ses interactions avec l'environnement, qu'**un organe peut être comparé à une machine, qu'il est absolument impossible d'étudier un individu sans tenir compte de son système nerveux, qu'on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions**, que la perception n'est absolument pas une acquisition passive d'information, qu'on ne peut pas rendre compte de la pensée par la logique mathématique et qu'il y a une transformation de l'information sensorielle lors de la perception.

Cette position s'apparente à une approche cybernétique.

Groupe 2d (Figure 57)

Ce groupe considère que le traitement de l'information perceptive n'est pas la principale fonction du cerveau, que le comportement n'est pas uniquement une réaction à un stimulus extérieur, qu'un organe peut être comparé à une machine, qu'**on peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions**, que la perception n'est pas une acquisition passive d'information, qu'il est absolument impossible de rendre compte de la pensée avec la logique mathématique, que l'information sensorielle est transformée lors de la perception, qu'une information provenant de l'environnement est un stimulus et que l'homme augmenté est lié à l'ajout de nouvelles fonctions.

Cette position est apparentée à une approche cybernétique.

Groupe 3ac (Figure 69)

Ce groupe considère qu'**une machine ne peut pas être comparée à un organe**, que **le comportement n'est pas uniquement une réaction à un stimulus extérieur**, qu'il n'est pas possible d'étudier le comportement d'un individu sans tenir compte de

son corps, que le raisonnement n'est pas un calcul logique, que la pensée n'est pas une manipulation de symboles, qu'un modèle de l'homme augmenté doit s'inspirer de la biologie, qu'**un organe ne peut pas être comparé à une machine**, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son système nerveux, que la perception n'est pas une acquisition passive d'information, qu'on ne peut rendre compte de l'intégralité de la pensée avec la logique mathématique, que l'information sensorielle est transformée lors de la perception, qu'une information de l'environnement est un stimulus et qu'on ne peut pas considérer le neurone comme une porte logique.

Cette position s'apparente à une approche intégrativiste telle que celle que nous développons.

Groupe 3b (Figure 74)

Ce groupe considère qu'une machine peut être comparée à un organe, que le traitement de l'information sensorielle n'est pas la principale fonction du cerveau, que le comportement n'est pas uniquement une réaction à des stimuli extérieurs, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son corps, qu'il est absolument impossible d'étudier un individu sans étudier ses interactions avec l'environnement, qu'une cellule vivante peut être comparée à une machine, que la pensée n'est pas réductible à une manipulation de symboles, qu'un organe peut être comparé à une machine, que le comportement n'est pas une résolution de problème, qu'il n'est pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son système nerveux, que le cerveau n'est pas une unité centrale de type informatique, que **l'homme augmenté n'est pas limité à une optimisation quantitative** et que la perception n'est pas une acquisition passive d'information.

Cette position est apparentée à une approche intégrativiste mécaniste.

Groupe 3cd (Figure 82)

Ce groupe considère que **le comportement n'est absolument pas uniquement une réaction à un stimulus extérieur**, qu'il n'est absolument pas possible de comprendre le comportement d'une individu sans tenir compte de son corps, que **le raisonnement n'est absolument pas le résultat d'un calcul logique**, qu'il n'est absolument pas possible d'étudier un individu en faisant abstraction de ses interactions avec l'environnement, que la pensée n'est absolument pas une manipulation de symboles, que le cerveau n'est absolument pas une unité centrale informatique, que la perception n'est absolument pas une acquisition passive d'information, qu'on ne peut absolument pas rendre compte de la pensée avec la logique mathématique et que l'homme augmenté est lié à l'ajout de fonctions nouvelles.

Cette position est apparentée à une approche intégrativiste.

Groupe 3ce (Figure 86)

Ce groupe considère que **le comportement n'est absolument pas uniquement une réaction à des stimuli extérieurs**, qu'il n'est absolument pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son **corps** ou sans tenir compte de ses interactions avec l'environnement, que la pensée n'est absolument pas une manipulation de symboles, que le cerveau n'est absolument pas un ordinateur, que **la perception n'est absolument pas une acquisition passive d'information**, qu'on ne peut absolument pas rendre compte de la pensée grâce à la **logique mathématique** et que l'homme augmenté est lié à l'ajout de nouvelles fonctions.

Cette position est apparentée à une approche intégrativiste.

Groupe 3ci (Figure 90)

Ce groupe considère que **le comportement n'est absolument pas uniquement une réaction à des stimuli extérieurs**, qu'il n'est absolument pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son corps ou sans tenir compte de ses interactions avec l'environnement, que la pensée n'est absolument pas une manipulation de symboles, qu'il n'est absolument pas possible de comprendre le comportement d'un individu sans étudier son système nerveux, que **le cerveau n'est absolument pas un ordinateur** qu'on ne peut absolument pas décrire l'organisme par une ensemble de fonctions, que la perception n'est absolument pas une acquisition passive d'informations, qu'on ne peut absolument pas rendre compte de la pensée avec la logique mathématique et qu'une information provenant de l'environnement peut être considérée comme un stimulus extérieur.

Cette position est apparentée à un behaviorisme modéré.

8.9 Synthèse des résultats

Grâce à l'utilisation d'une catégorisation hiérarchique, une fois obtenus des groupes fortement déterminés, il est possible de regrouper certains groupes non caractéristiques proches de ceux ci dans la mesure où leur position dans la hiérarchie est fonction de leur proximité avec ces derniers.

Il devient alors possible de représenter ces données dans la figure 92.

9 Discussion

Ce que montre notre étude est l'existence d'approches différentes et structurées au sujet de l'humain machine.

Le fait que 25% des réponses ne puissent être rattachées à une position (figure 93) s'explique par le fait que les groupes impliqués ne possèdent pas d'ensemble de réponses suffisamment structurée et ne peuvent être hiérarchiquement rattachée à un groupe fortement déterminé. L'existence de ce groupe était un fait prévisible dans la mesure où la population se compose d'experts *dans leur domaine* et non nécessairement d'experts *dans le domaine de l'humain machine*.

Globalement, il n'existe pas de position dominante, bien que la plus représentée soit proche du cognitivisme (22% cumulé) suivie par les approches intégratives (18% cumulé).

On remarquera notamment à travers l'ACP que l'âge n'influence pas les réponses des sujets de manière significative, ce qui nous permet d'affirmer qu'il n'existe pas de position nouvelle ou ancienne.

Concernant la répartition des résultats par groupe sociologique, la figure 93 montre que seuls les groupes apparentés à un intégrativisme mécaniste ou à un behaviorisme ne possèdent pas de profils médicaux dans leur effectif.

Il est également intéressant de remarquer que les positions issues du questionnaire ne recoupent pas exactement les positions canoniques décrites par notre étude bibliographique. Cela tient au fait que les sujets de l'enquête n'ont pas nécessairement vocation à théoriser leur pratique mais sont plutôt dans une perspective d'utilisation de courants de pensée existants en relation avec cette pratique. Cela introduit un biais dans la mesure où les questions essentielles pour un médecin réanimateur ne seront pas les mêmes que celles d'un théoricien du cognitivisme. Cela explique également l'absence de médecins dans les catégories behavioriste et intégrativiste mécaniste ; en effet ces positions ne considèrent pas la biologie comme centrale dans leur champ d'application ce qui les rends moins compatible avec la pratique médicale que le cognitivisme ou la cybernétique.

Alors, il est possible d'affirmer qu'il n'existe pas une manière unique d'aborder l'humain machine, ne serait-ce qu'au sein d'une catégorie de population bien définie. Cela permet d'envisager qu'une approche compréhensive, apparentée à une position intégrativiste non mécaniste, dans la mesure où elle peut reproduire des résultats issus de doctrines théoriques plus spécialisées, constitue un type d'approche pertinent pour l'étude de ce domaine.

L'analyse de la question 26¹⁵⁸ n'a pas été conduite. Pour que cette question soit traitée correctement, il aurait fallu créer un corpus bruité que l'on aurait fait évaluer par un nombre suffisant de sujets en leur faisant noter chaque entrée selon sa positivité. L'établissement

¹⁵⁸ Si vous deviez donner 5 mots que vous évoquent la notion d'homme augmenté, quels seraient-ils ?

de cette étude annexe et son traitement auraient ainsi pris un temps non négligeable que nous avons préféré consacrer à l'analyse détaillée du questionnaire principal qui constitue la base de notre étude.

Conclusions

Le vivant, l'inerte et le technique

Ces distinctions correspondent à d'autres éléments théoriques, mais les acceptions ici utilisées sont porteuses de sens. En effet, nous appelons inertes les objets physiques en tant qu'ils sont physiques, il s'agit là d'une reformulation neutre du concept de matière.

Lorsqu'il est organisé par les seuls phénomènes physiques, l'inerte est abiotique et l'exemple canonique de ce domaine est le caillou. Il s'agit là de l'organisation naïve de la nature et pris en tant que telle, la majorité de l'univers est abiotique.

Vivant et technique correspondent à deux modes d'organisation particuliers de l'inerte. Comme on l'a vu, le vivant est un système composé de matière selon le PAAS, ce qui en fait un domaine dans lequel la fonction résulte de l'évolution et de la forme du système. Le technique correspond à la dynamique inverse à ce système dans la mesure où c'est la fonction qui détermine et conditionne la forme et l'évolution du système.

Au sujet de la nature du système homme-machine

Comme nous l'avons montré ici, l'individu humain, même considéré comme système, est un objet biologique et vivant. La principale distinction entre le vivant et le technique se trouve dans les rapports inverses de la dynamique fonctionnelle. Cette inversion des dynamiques engendre la possibilité d'une complémentarité fondamentale entre le vivant et le technique et permet, en droit, une modification uniquement quantitative de la fonction biologique.

Il n'y a rien de révolutionnaire dans cette idée qui remonte déjà à Platon et au mythe de Prométhée dans *Protagoras*.¹⁵⁹ Dans ce mythe, Prométhée fournit à l'homme dépourvu d'avantages naturels le feu et les arts¹⁶⁰. Originellement, la technique est donc pour Platon le moyen de créer les outils permettant à l'homme de suppléer à la pauvreté fonctionnelle qui est sa condition.

Ainsi, l'homme étant biologique et la machine, en tant qu'outil, étant un système technique conçu en vue et en fonction de la complémentarité fonctionnelle, le système humain machine demeure un système biologique.

Il sera difficile de développer les implications de cette thèse dans ces travaux, mais la structure du vivant et la grande connectivité qui y réside font qu'il est impossible d'envisager un couplage humain machine fort qui ne soit nécessairement accompagné de modifications

¹⁵⁹Platon, « *Protagoras* ».

¹⁶⁰τεχνε

profondes de l'humain. Cela est dû aux régulations internes du système propres au vivant et son organisation qui font qu'une modification, même à haut niveau, va engendrer une cascade de changements plus ou moins réversibles.

La connectivité est un produit de la complexité du système biologique qu'est l'humain. Comme on l'a vu, l'augmentation de la complexité s'accompagne également d'une augmentation de la stabilité au niveau supérieur. Toutefois, plus un système est complexe, plus la possibilité d'influer sur son évolution est importante en raison de l'accroissement du nombre de variables en jeu dans la réalisation de celle-ci. Il devient alors possible de considérer que plus grande est la complexité d'un système, plus il est aisé de réaliser des couplages avec d'autres systèmes.

Individuation des systèmes eu égard à la fonction

La fonction étant la résultante de l'activité du système, celle-ci ne peut être considérée comme un facteur d'individuation. Elle est en effet un objet purement analytique dont le but est de décrire l'évolution d'un système par celle de ses sous-systèmes. S'arrêtant là, notre position serait un atomisme¹⁶¹ et contredirait frontalement notre positionnement vis-à-vis de la physiologie.

Les organes jouissent d'une forte individuation, ils sont dissociables et peuvent être considérés comme agents dans certains cas. Si cette individuation ne peut être envisagée sous l'angle fonctionnel, elle doit l'être selon l'évolution du système, c'est-à-dire l'ensemble des interactions de ses constituants.

Considérations comparatives

D'un point de vue comparatif, les positions behavioriste, cybernétique et intégrativiste sont, nativement, les plus adaptées à fonder l'appareil théorique destiné à concevoir des Systèmes homme-Dans-La-Boucle. Cette conclusion tient à des raisons d'échelle ; le cognitivisme et le connexionnisme sont focalisés sur l'étude de l'homme en tant qu'objet connaissant¹⁶² ce qui implique la nécessité de les étendre afin de pouvoir les utiliser dans notre problématique.

¹⁶¹ au sens grec du terme

¹⁶² Le dictionnaire d'André Lalande (Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*) fait même mention de l'utilisation du terme de *cognition* dans la traduction en anglais de la Critique de la Raison Pure comme équivalent de *Erkenntnis* (Connaissance)

Au sujet de la conception de l'humaine machine

Ce que montre notre étude, c'est qu'il n'existe pas une pensée propre aux concepteurs de l'humain machine qui soit distincte d'une pensée propre à ses prescripteurs. Cette conclusion est fondamentale car elle permet d'emblée de concevoir la possibilité d'un ensemble théorique partagé par ces deux groupes d'experts et qui ne soit pas fondé sur la juxtaposition d'ensembles théoriques distincts mais sur une approche proprement développée autour de l'humain machine.

Perspectives ultérieures

Cette étude permet d'établir un état des lieux détaillé de la pensée autour de l'humain machine. Comme on l'a vu, le spectre d'application des différentes position théoriques dans ce domaine possède une variabilité conséquente et une approche permettant, nativement, de couvrir le champ entier de l'humain machine représente alors une évolution souhaitable concernant sa conception et sa mise en œuvre.

Consciente de ces enjeux, la Direction Générale de l'Armement¹⁶³ s'est proposée pour financer intégralement une allocation de thèse sur ce sujet.

Ce projet ambitieux vise à construire un ensemble théorique compréhensif autour de l'humain machine permettant, à terme, d'intégrer toutes les dimensions de cette catégorie particulière de systèmes tant dans l'optique de leur conception que de leur compréhension.

Ce partenariat regroupera la DGA, le Loria à travers l'équipe MOSEL et l'Université de Lorraine à travers l'équipe PErSEUs¹⁶⁴, ce qui permettra une forte convergence pluridisciplinaire.

¹⁶³<http://www.defense.gouv.fr/dga>

¹⁶⁴<http://shs-metz.univ-lorraine.fr/CENTREDERECHERCHE/LABPSYLOR.html>

Annexes

A Questionnaire

L'homme augmenté et l'humain machine

Merci de participer à notre enquête.

Ce questionnaire ne vous prendra pas plus de 10 minutes.

Le but de ce questionnaire est d'étudier les notions d'homme augmenté et d'humain-machine. Il est réalisé dans le cadre du master recherche en Sciences Cognitive et Médias Numériques de l'Université de Lorraine.

Les notions d'homme augmenté et d'humain machine sont fortement liées à la généralisation d'outils automatisés, notamment dans les milieux médicaux et industriels. Elles posent le problème des conséquences de la mise en relation d'une personne et des relations profondes que peuvent avoir avec lui des systèmes techniques utilisés pour palier à une défaillance ou pour l'adapter à un besoin particulier.

Ces notions ont été pensées dès le début de l'ère industrielle à travers la question du rapport de l'humain et de la technique et se sont développées durant tout le XX^e siècle. Aujourd'hui, les perspectives d'interactions bio-techniques de plus en plus riches obligent à se poser la question de la nature de l'humain machine et de notre manière de le concevoir.

Nous vous demanderons d'exprimer votre accord avec de 25 propositions simples selon une échelle progressive allant du désaccord complet à l'acceptation et qui permet la neutralité.

Ce questionnaire a été établi sur la base d'une grille de comparaison de différents courants de pensée de telle sorte qu'il ne soit pas orienté vers l'une ou l'autre de ces théories. Il n'y a ainsi aucune sorte de bonne ou mauvaise réponse à donner et il vous sera toujours possible de réserver votre jugement quant à l'une des propositions qui vous seront soumises. Ce questionnaire est anonyme dans la mesure où, hormis quelques renseignements usuels (âge, sexe, profession), aucune de vos informations personnelles ne sera enregistrée.

Il y a 29 questions dans ce questionnaire

État civil

[]

Quel est votre âge ?

*

Chaque entrée doit être entre 18 et 120

Veuillez écrire votre réponse ici :

ans

[] Quel est votre sexe ? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

☐ Féminin

☐ Masculin

[] Quelle profession exercez vous ? *

Veuillez écrire votre réponse ici :

Indiquez en détail votre spécialité



Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?

L'homme augmenté

[] Une machine peut être comparée à un organe. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] La principale fonction du cerveau est de traiter l'information provenant de la perception. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Le comportement est uniquement une réaction à un stimulus extérieur. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Il est possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son corps. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Le raisonnement peut être considéré comme le résultat d'un calcul logique. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Il est possible d'étudier un individu en faisant abstraction de ses interactions avec l'environnement. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Une cellule vivante peut être comparée à une machine. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] La pensée est réductible à une manipulation de symboles. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Un modèle décrivant l'homme augmenté doit nécessairement être d'inspiration biologique. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Un organe peut être comparé à une machine. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

☐

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐



Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?

[] Le comportement d'un individu peut être décrit comme le résultat d'une résolution de problème. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] On peut considérer l'environnement uniquement comme une source de stimuli. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Il est possible de comprendre le comportement d'un individu sans tenir compte de son système nerveux. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] On peut voir le cerveau comme une unité centrale de type informatique. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] On peut décrire le fonctionnement de l'organisme par un ensemble de fonctions. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] L'homme augmenté est limité à l'optimisation quantitative de ses fonctions naturelles. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] La perception est une acquisition passive d'informations. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] L'augmentation de capacité est le prélude à une robotisation de l'humain. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] On peut considérer la restauration d'une fonction chez une personne handicapée comme une augmentation. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] On peut rendre compte de l'intégralité de la pensée au moyen de la logique mathématique. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐



Quels fondements épistémologiques pour l'humain machine ?

[] Il y a une transformation de l'information sensorielle lors de la perception. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Une information provenant de l'environnement peut être considérée comme un stimulus. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Il est possible de réduire le comportement d'un neurone à celui d'une porte logique. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] L'homme augmenté est lié à l'ajout de nouvelles fonctions. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] L'augmentation de capacité impose une profonde modification de la personne. *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

Pas du tout
d'accord
☐

Pas d'accord
☐

Sans avis
☐

Plutôt d'accord
☐

Pleinement d'accord
☐

[] Si vous deviez donner 5 mots que vous évoque la notion d'homme augmenté, quels seraient ils ?

Veuillez écrire votre(vos) réponse(s) ici :

(question facultative)

A1 Résultats

A1.1 Population générale

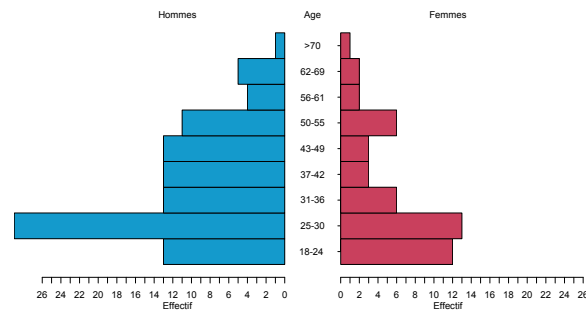


Fig. 3 : Répartition de la population générale selon l'âge et le sexe

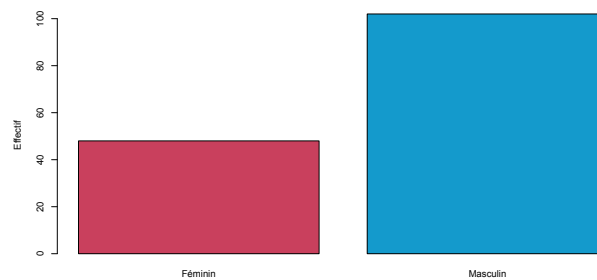


Fig. 4 : Répartition de la population générale selon le sexe

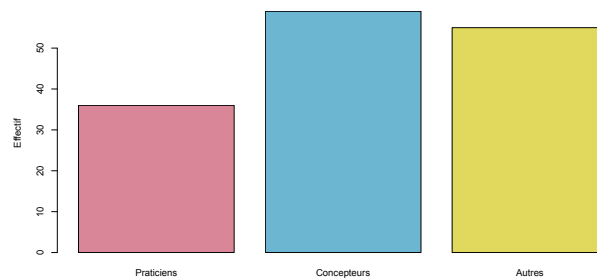
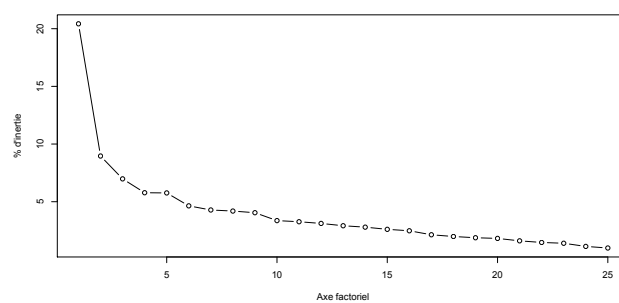


Fig. 5 : Répartition de la population générale en catégories de profil



L'inertie exprimée par un axe est égale à la valeur propre correspondante. On constate ici un décrochement de la courbe entre l'axe 1 et l'axe 2.

Fig. 6 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans la population générale

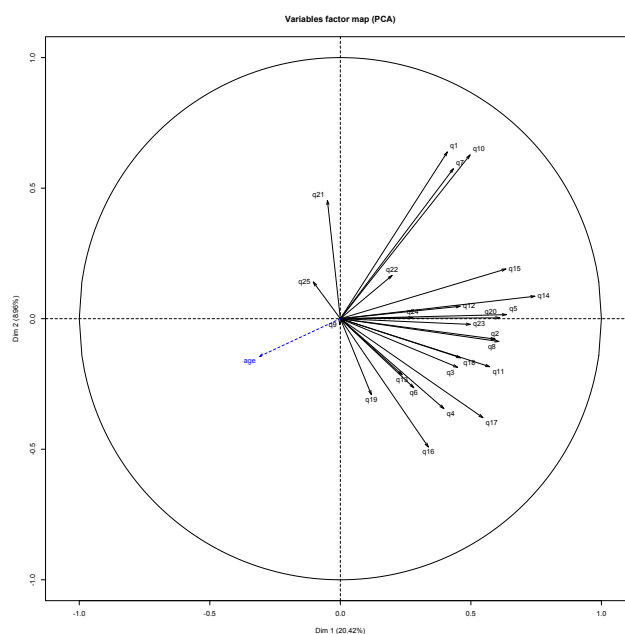


Fig. 7 : Cercle de corrélation des variables dans la population générale

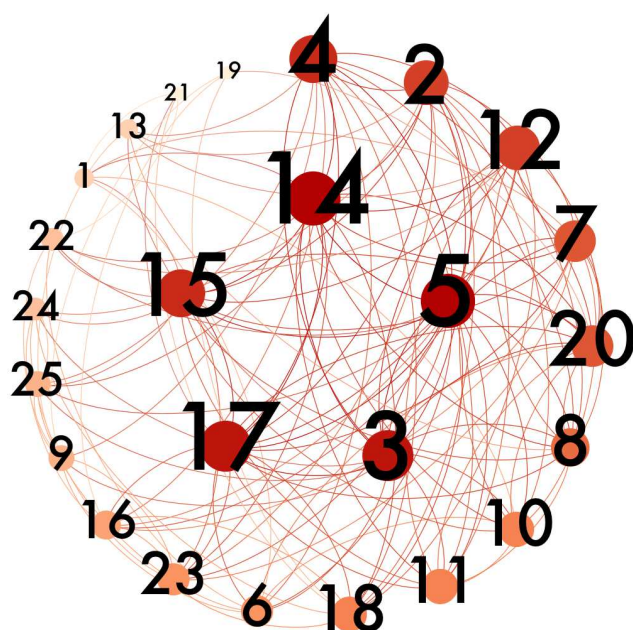


Fig. 8 : Graphe des corrélations entre propositions dans la population générale

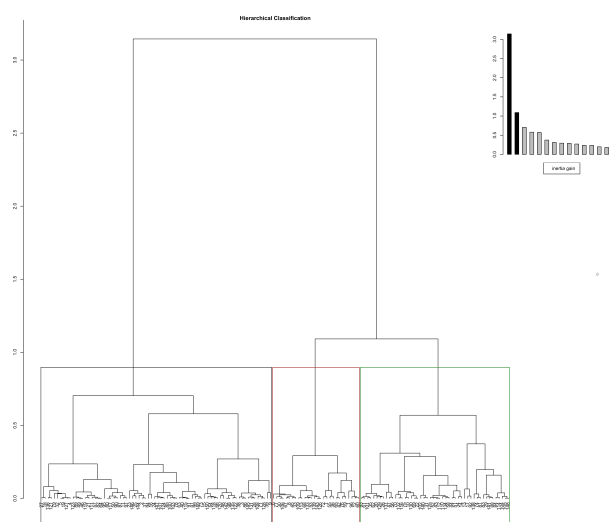


Fig. 9 : Catégorisation hiérarchique au sein de la population générale

A1.2 Groupe 1

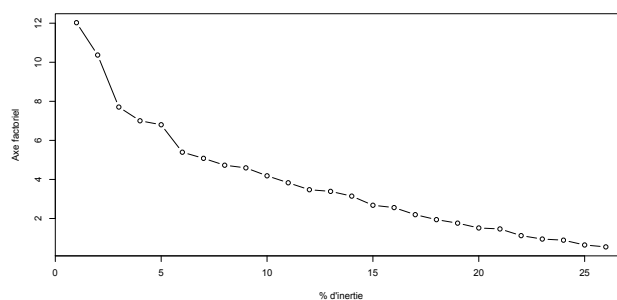


Fig. 10 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1

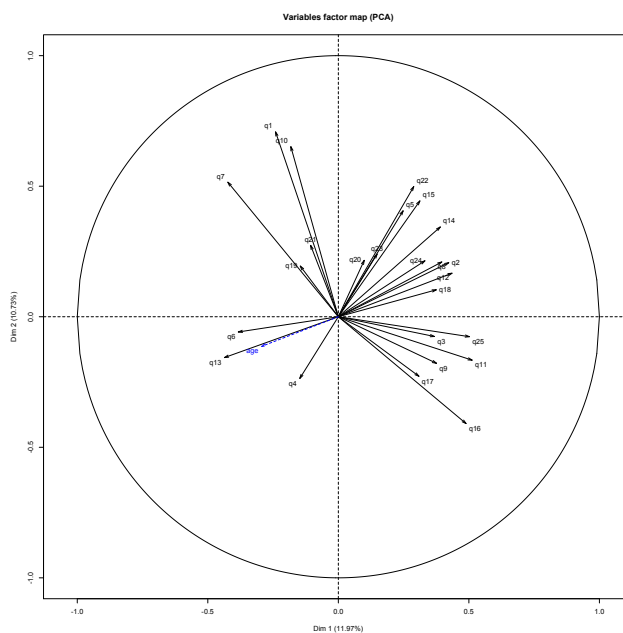


Fig. 11 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1 (axes 1 et 2)

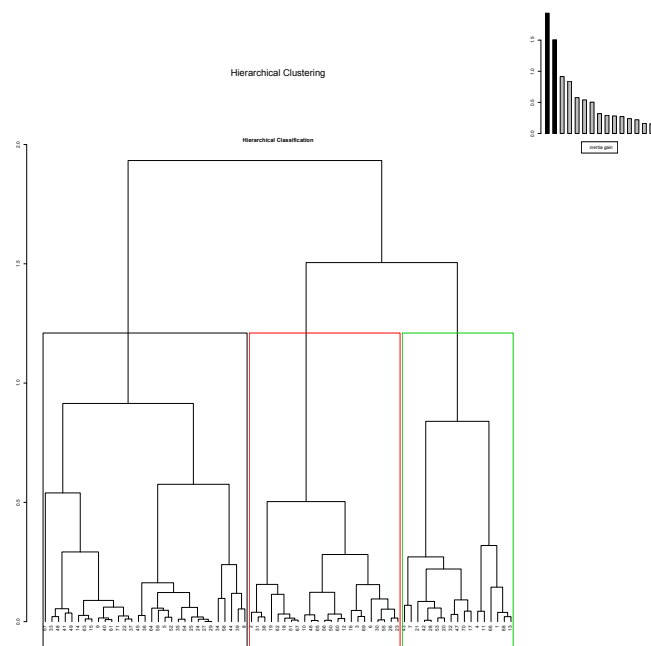


Fig. 12 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1

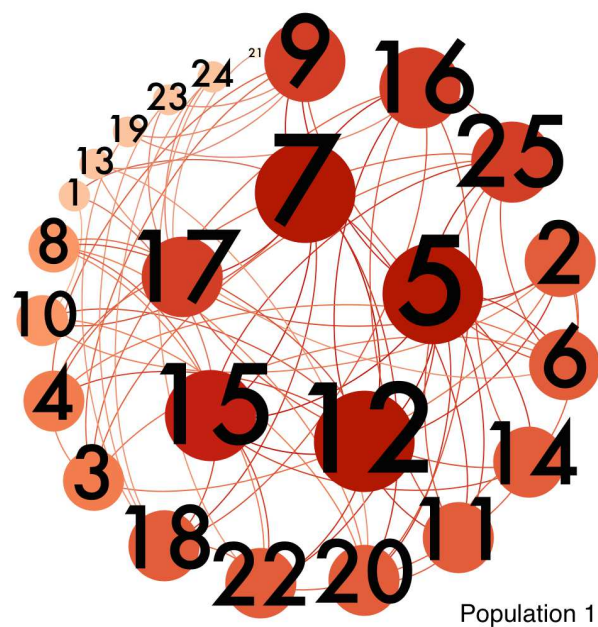


Fig. 13 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1

A1.3 Groupe 1a

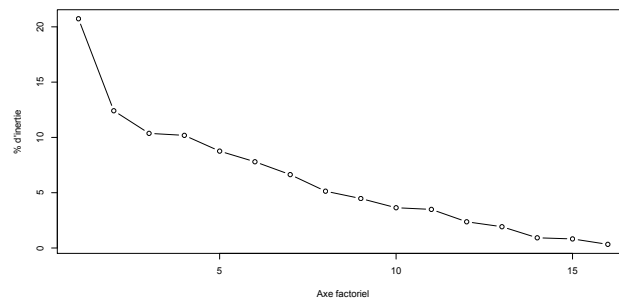


Fig. 14 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1a

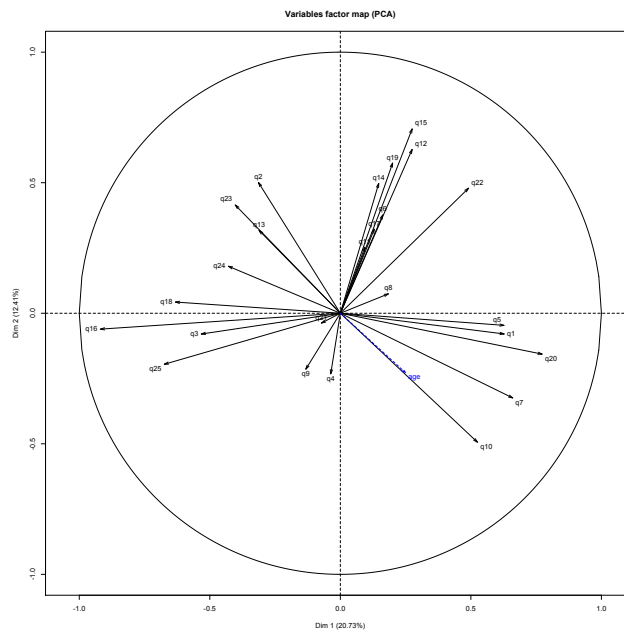


Fig. 15 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1a (axes 1 et 2)

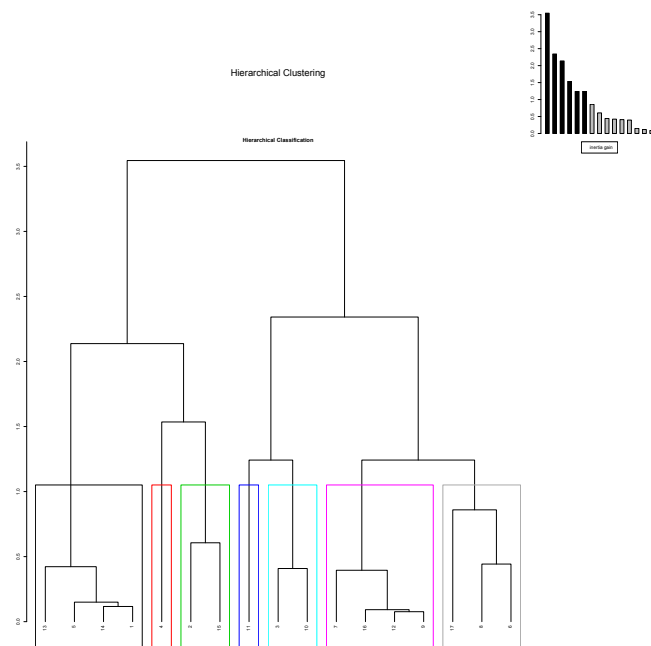


Fig. 16 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1

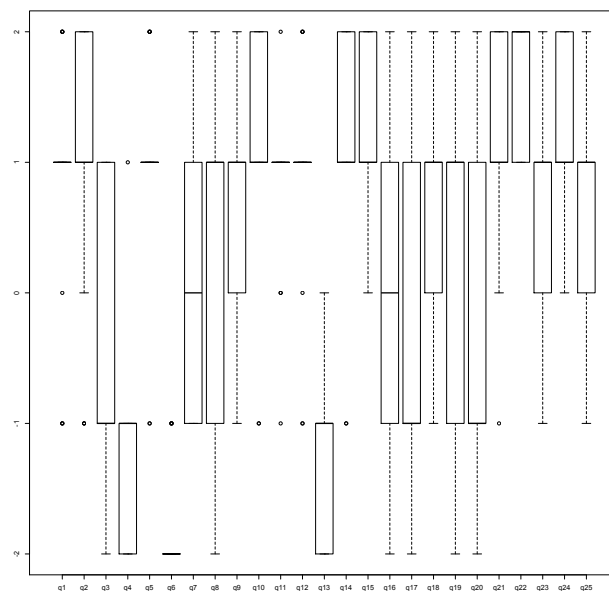


Fig. 17 : Boxplot des réponses du groupe 1a

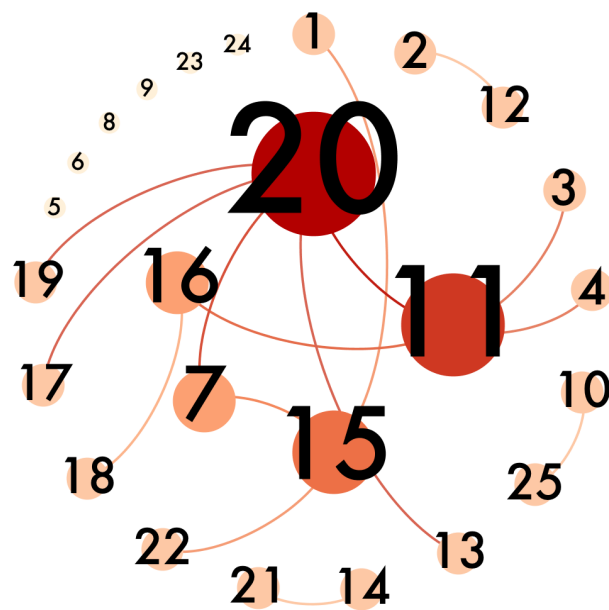


Fig. 18 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1a

A1.4 Groupe 1b

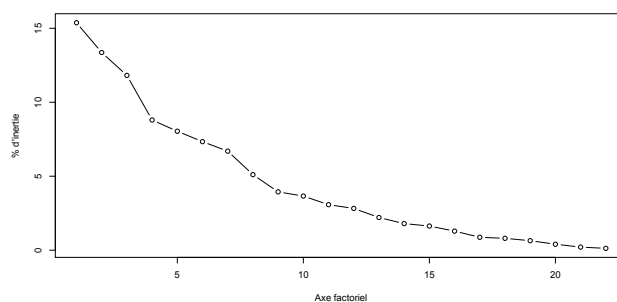


Fig. 19 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1b

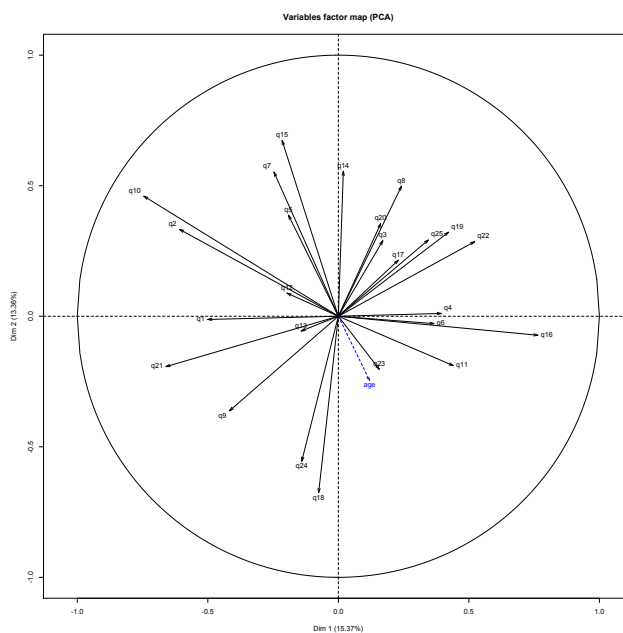


Fig. 20 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1b (axes 1 et 2)

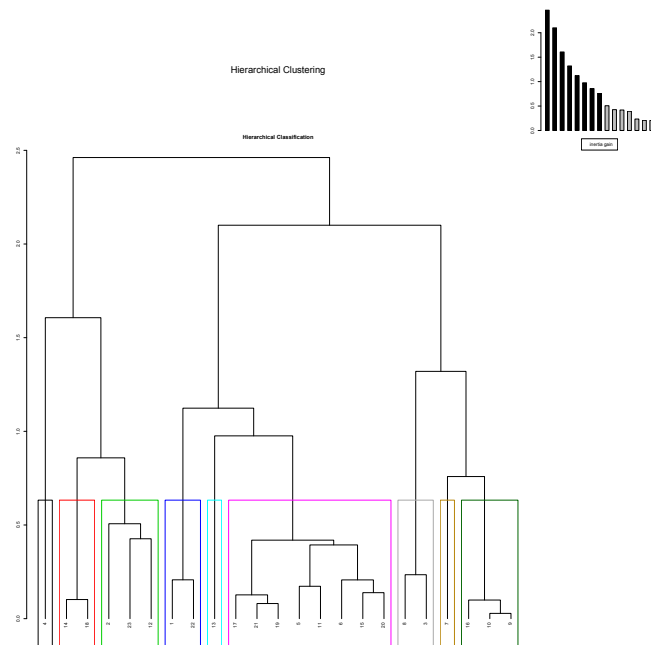


Fig. 21 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1b

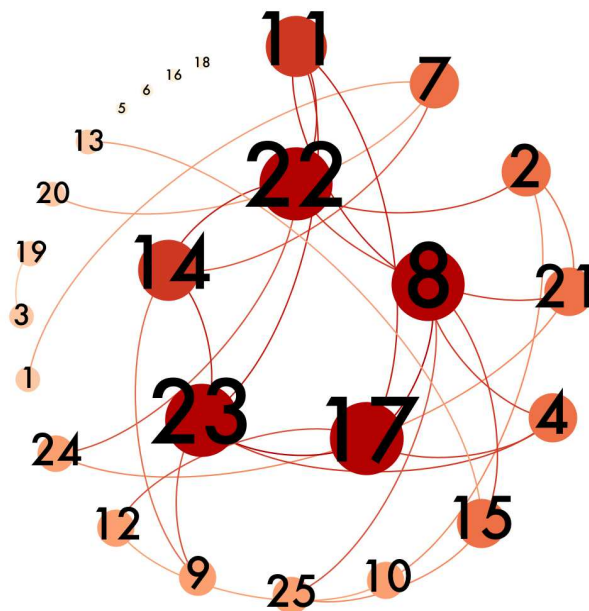


Fig. 22 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1b

A1.5 Groupe 1bf

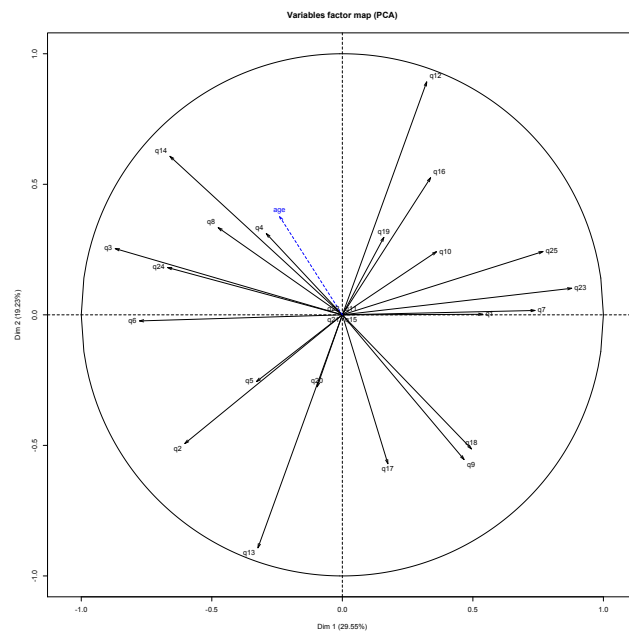


Fig. 23 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1bf (axes 1 et 2)

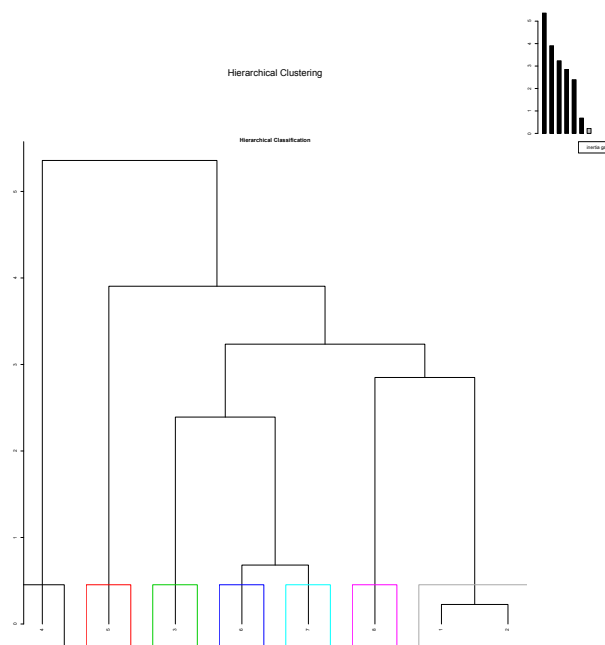


Fig. 24 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1bf

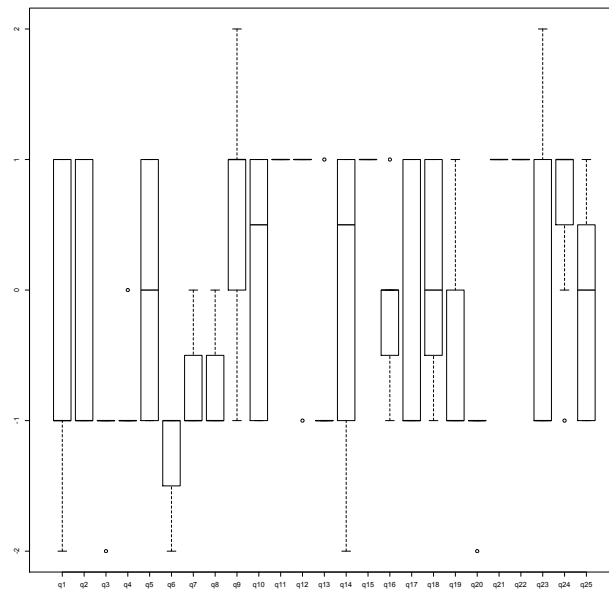


Fig. 25 : Boxplot des réponses du groupe 1bf

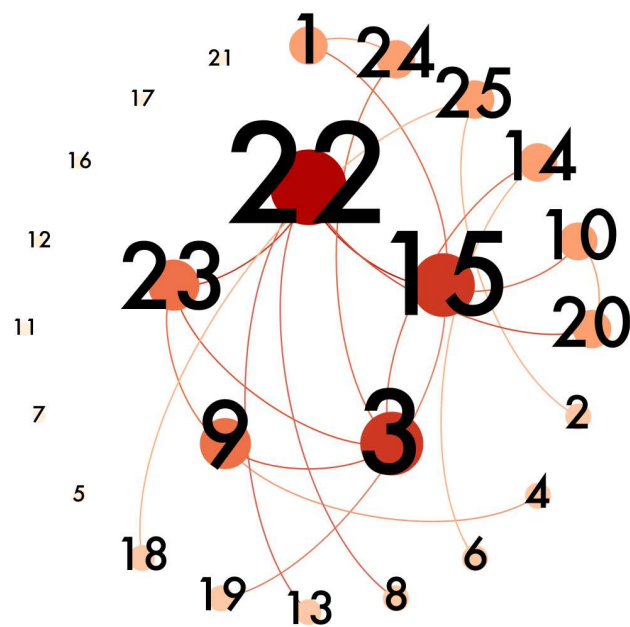


Fig. 26 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1bf

A1.6 Groupe 1c

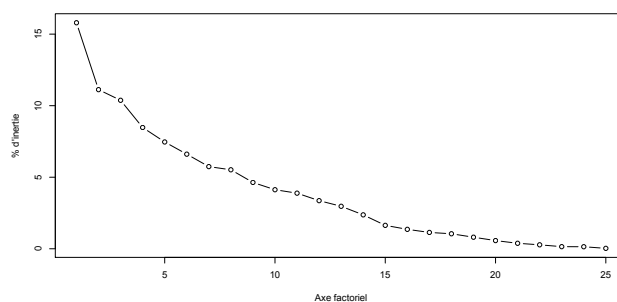


Fig. 27 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 1c

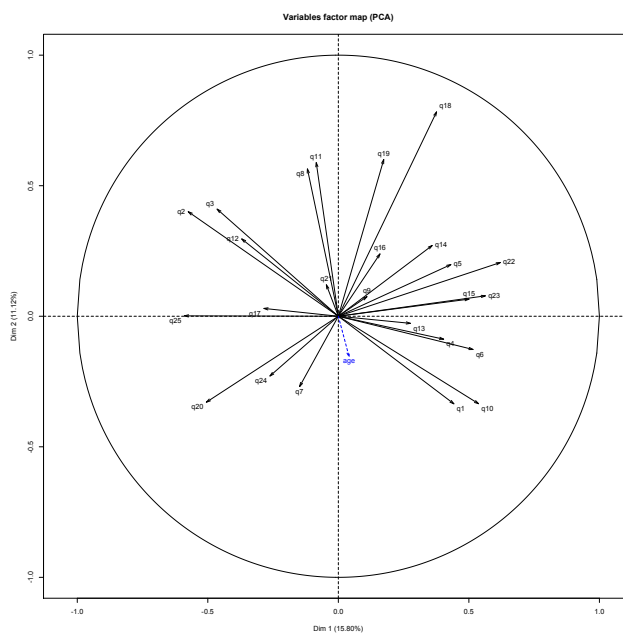


Fig. 28 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1c c(axes 1 et 2)

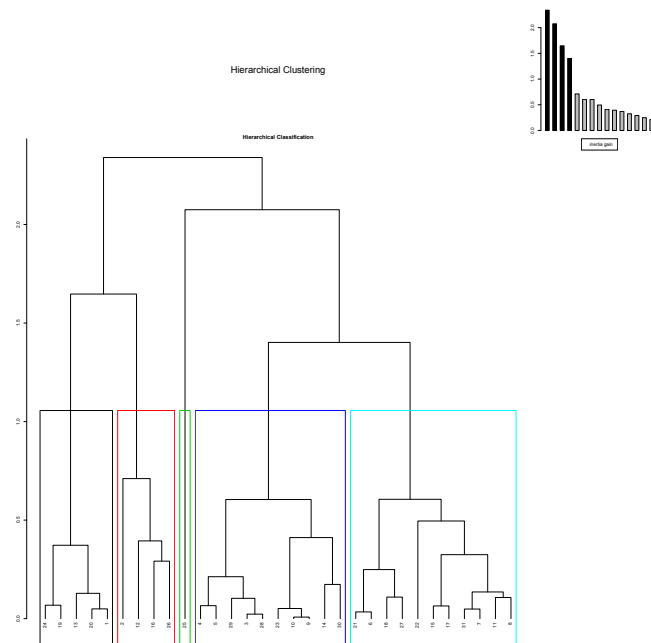


Fig. 29 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1c

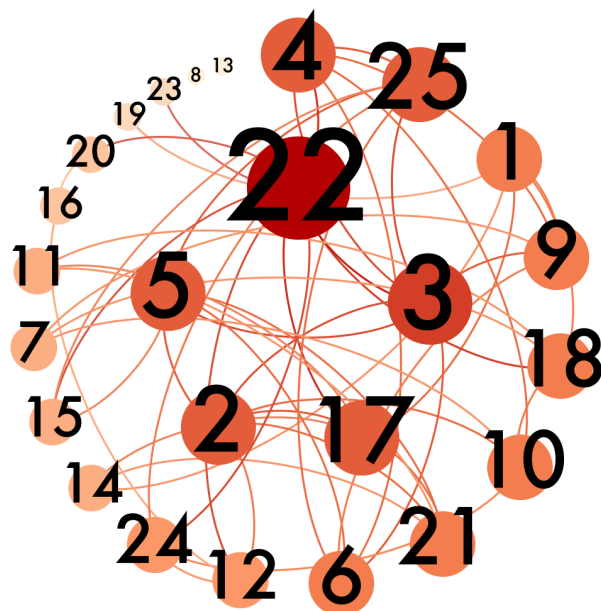


Fig. 30 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1c

A1.7 Groupe 1ca

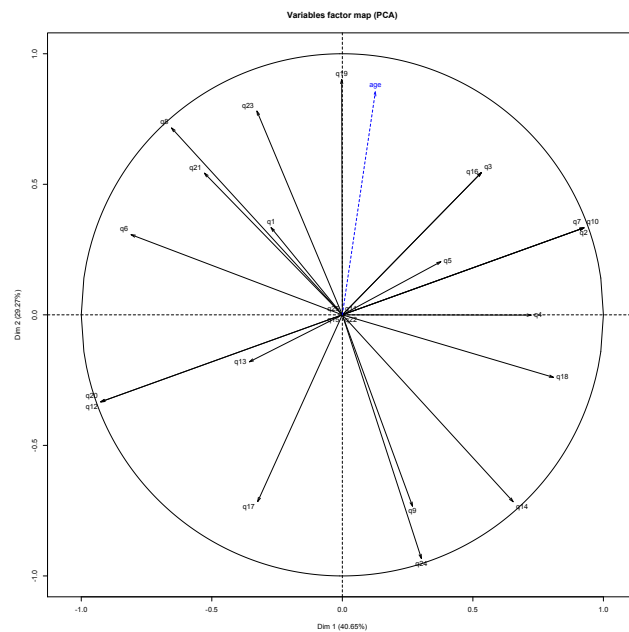


Fig. 31 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1ca (axes 1 et 2)

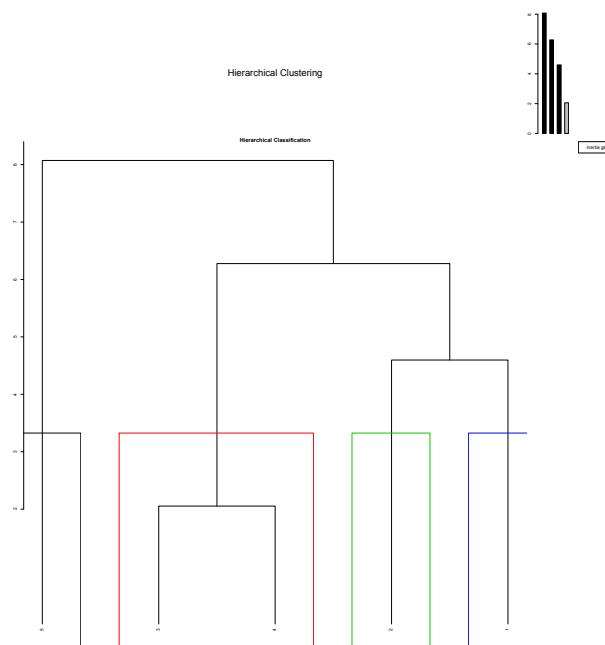


Fig. 32 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1ca

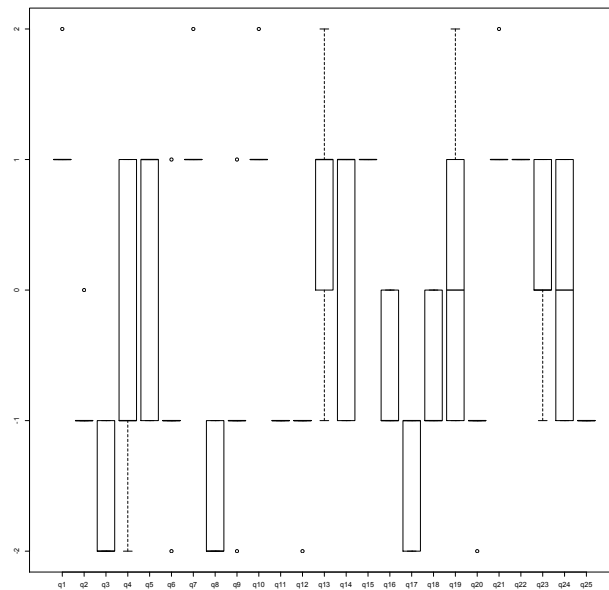


Fig. 33 : Boxplot des réponses du groupe 1ca

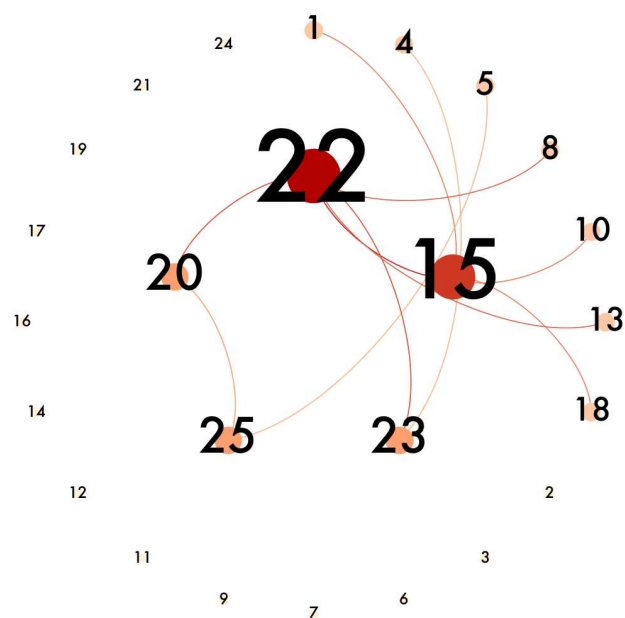


Fig. 34 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1ca

A1.8 Groupe 1cb

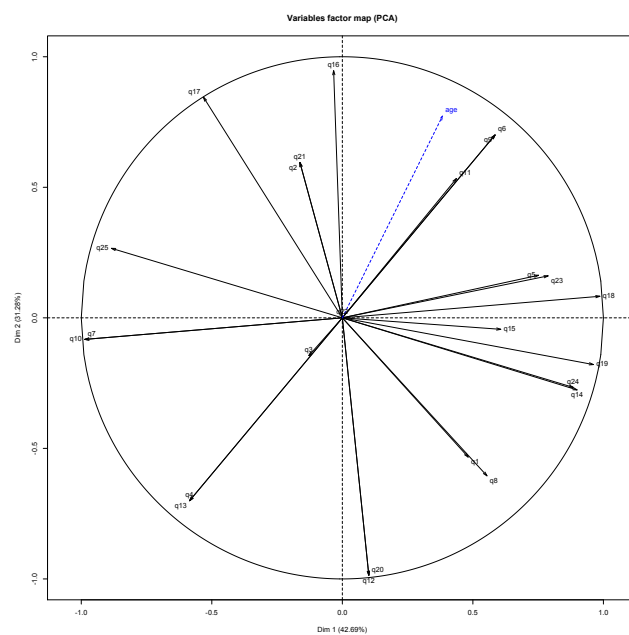


Fig. 35 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1cb c(axes 1 et 2)

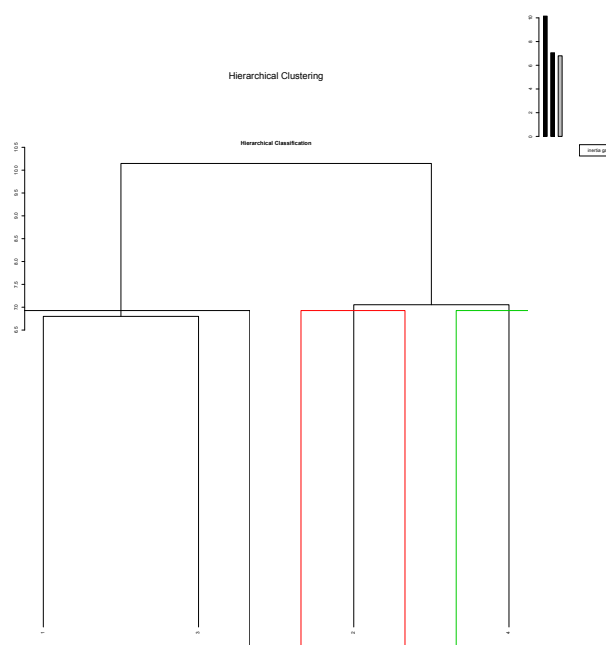


Fig. 36 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1cb

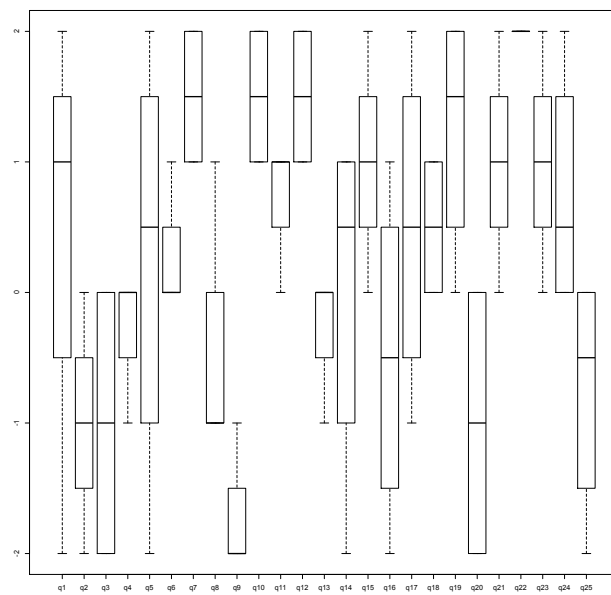


Fig. 37 : Boxplot des réponses du groupe 1cb

A1.9 Groupe 1cd

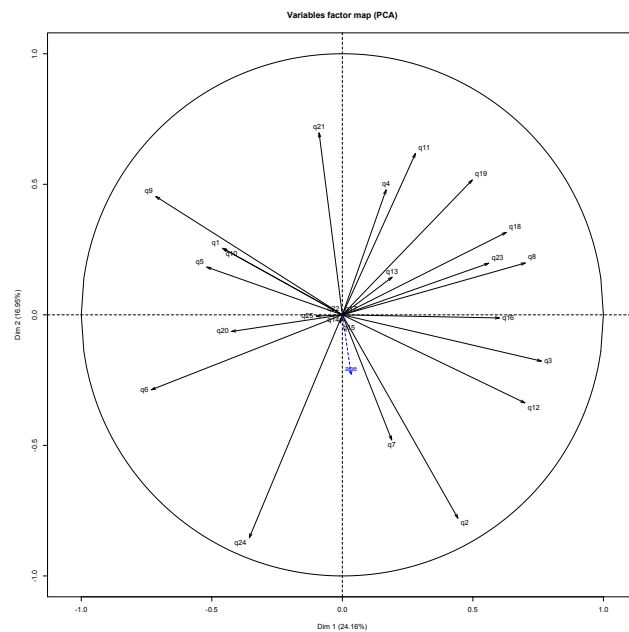


Fig. 38 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1cd (axes 1 et 2)

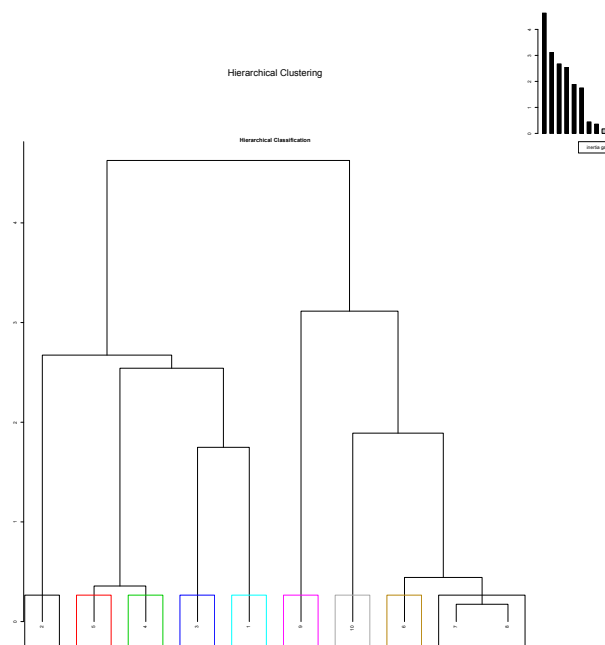


Fig. 39 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1cd

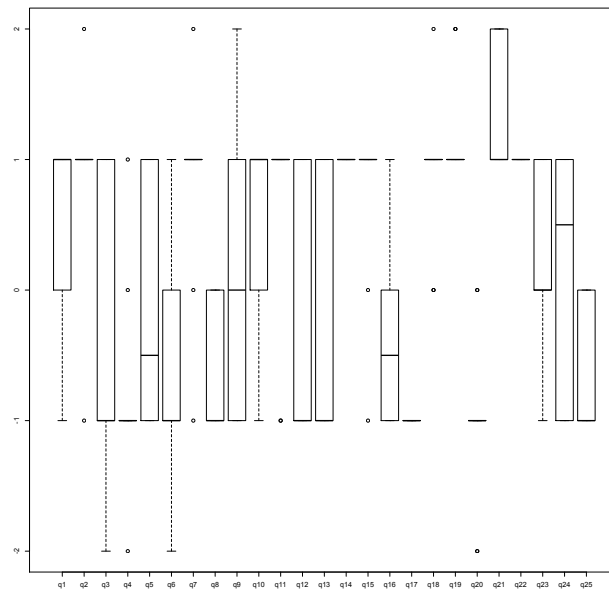


Fig. 40 : Boxplot des réponses du groupe 1cd

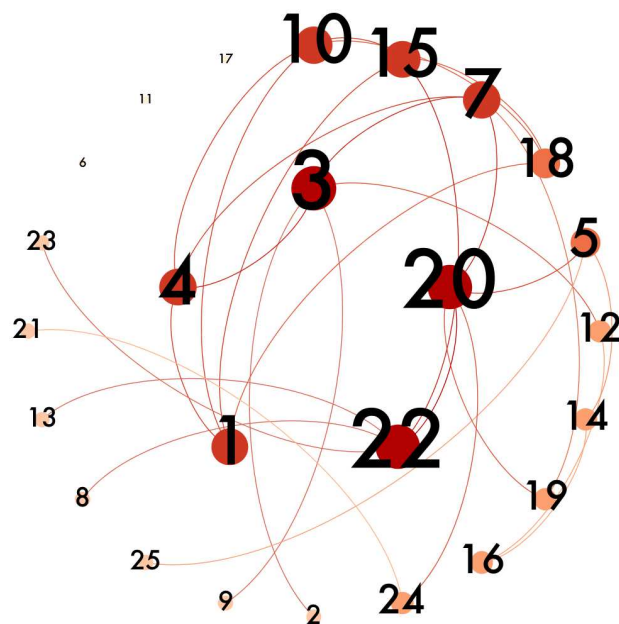


Fig. 41 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1cd

A1.10 Groupe 1ce

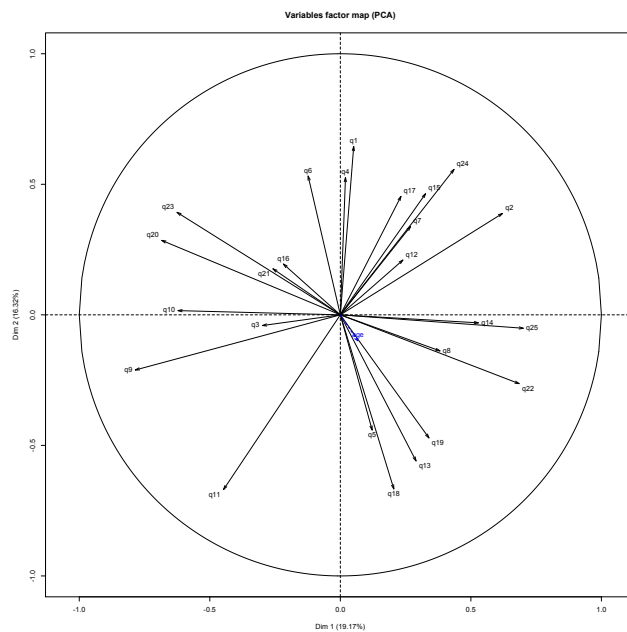


Fig. 42 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 1ce (axes 1 et 2)

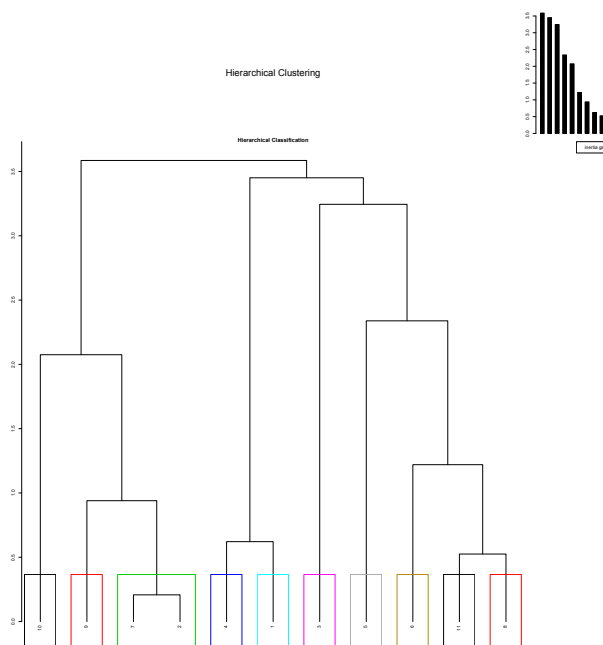


Fig. 43 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 1ce

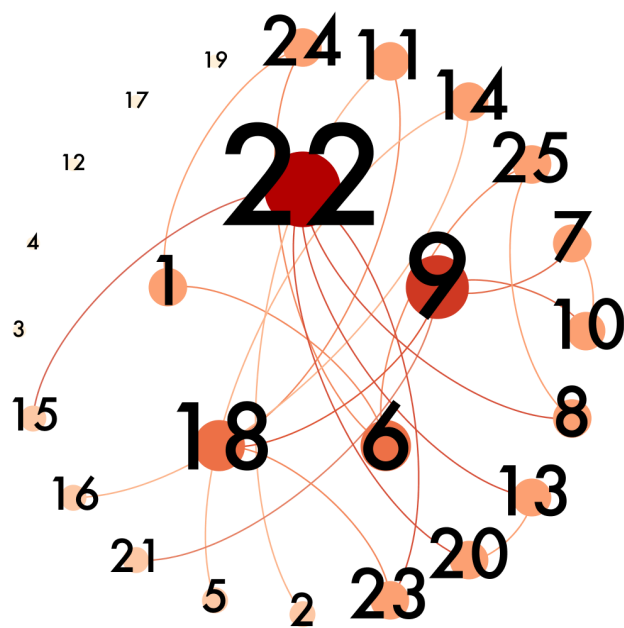


Fig. 44 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 1ce

A1.11 Groupe 2

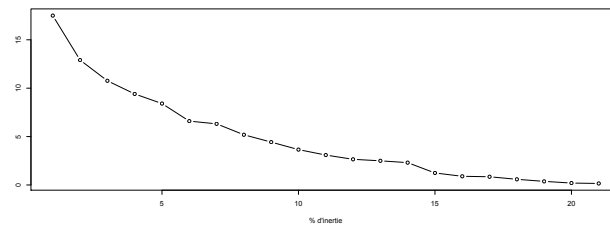


Fig. 45 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2

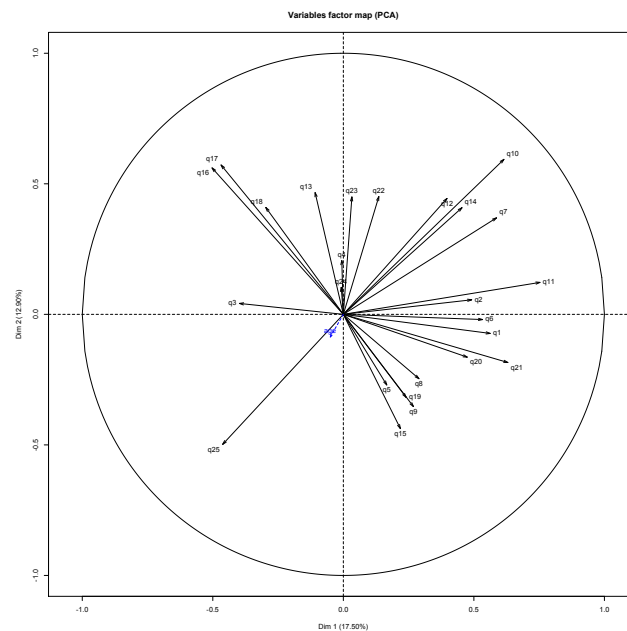


Fig. 46 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2 (axes 1 et 2)

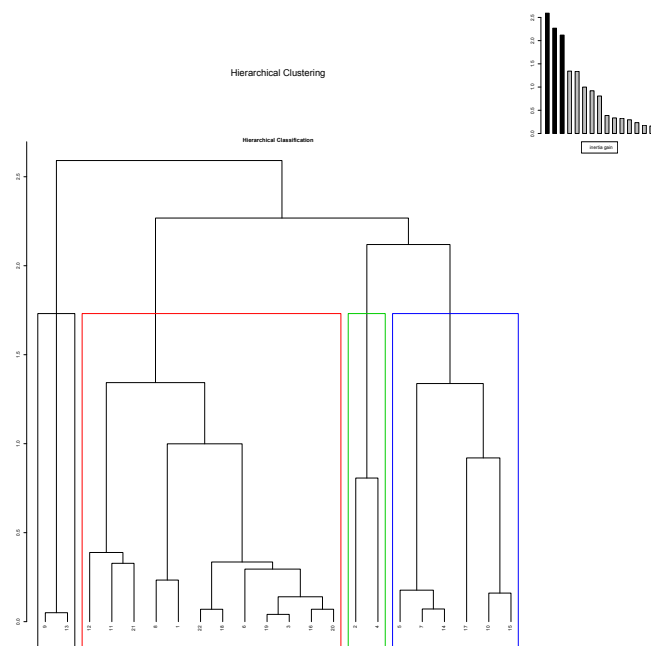


Fig. 47 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2

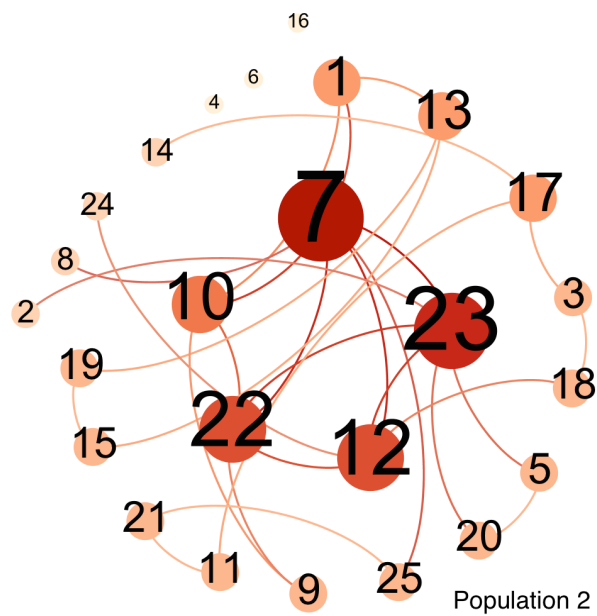


Fig. 48 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2

A1.12 Groupe 2b

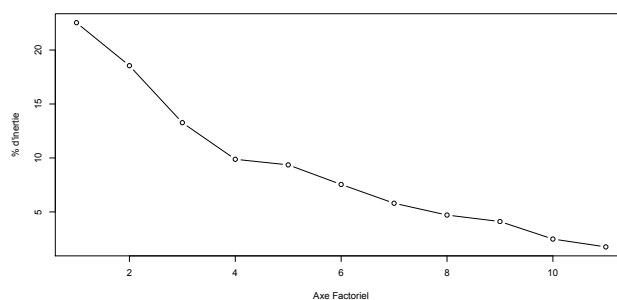


Fig. 49 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2b

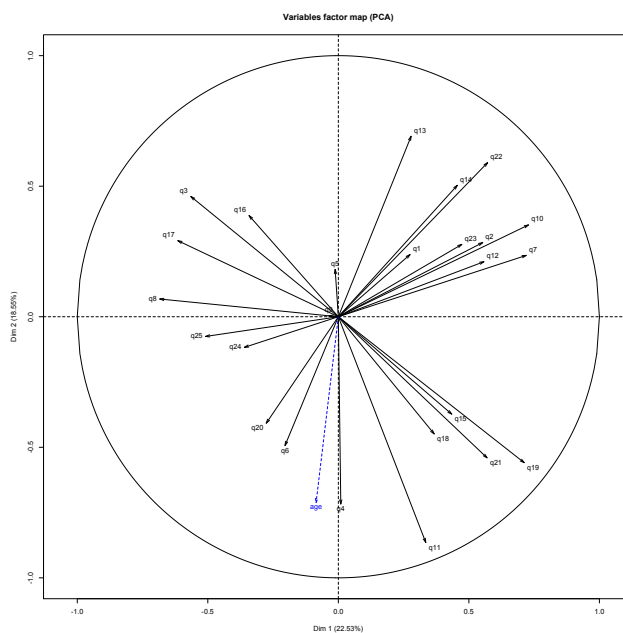


Fig. 50 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2b (axes 1 et 2)

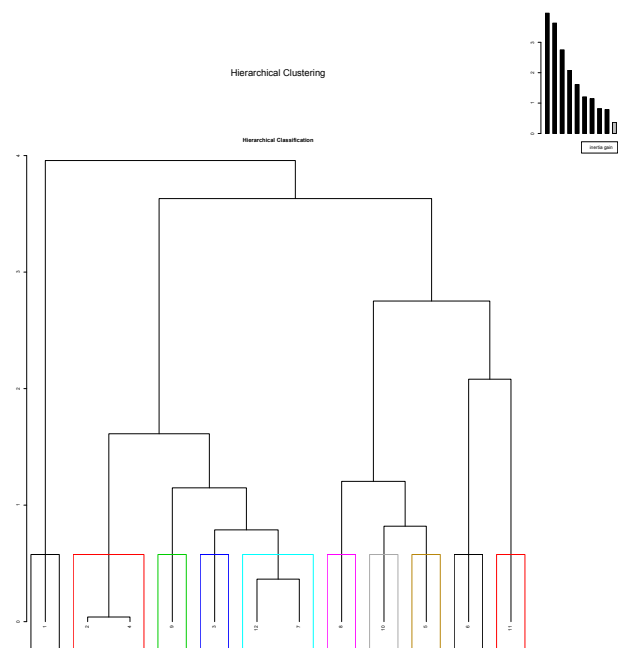


Fig. 51 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2b

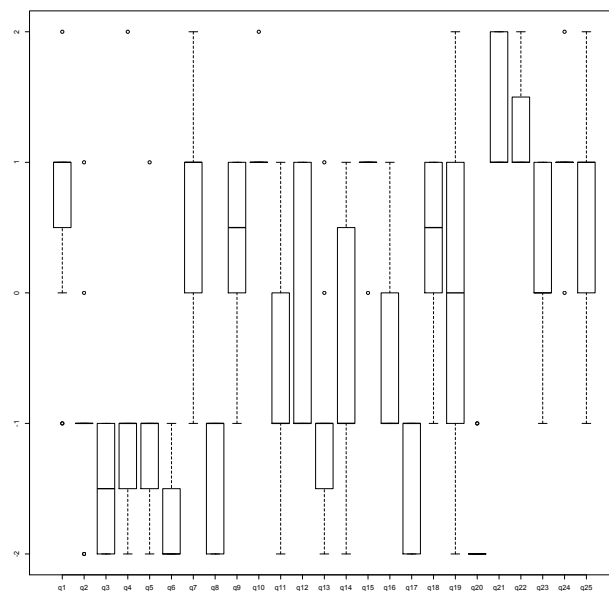


Fig. 52 : Boxplot des réponses du groupe 2d

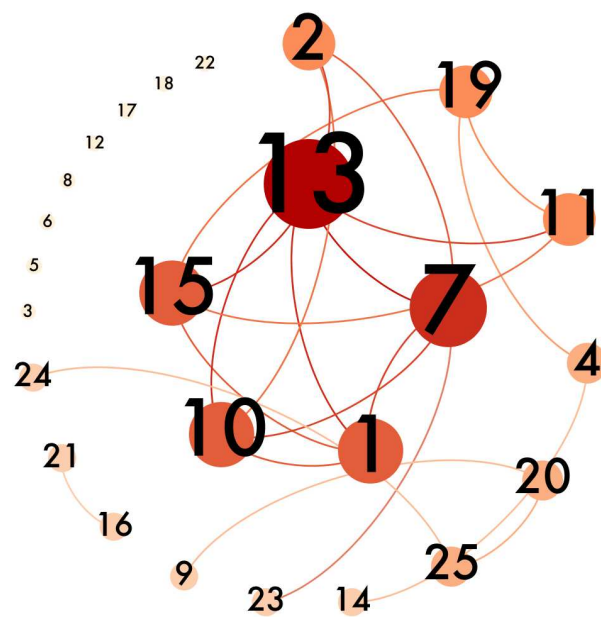


Fig. 53 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2b

A1.13 Groupe 2d

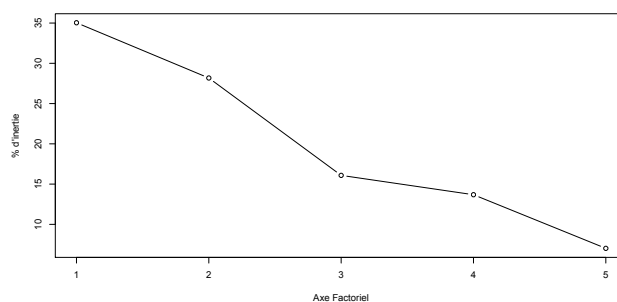


Fig. 54 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 2d

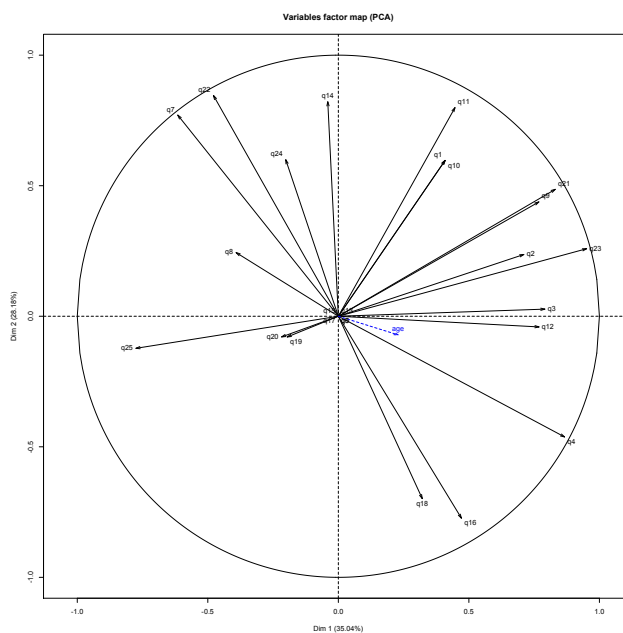


Fig. 55 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 2d (axes 1 et 2)

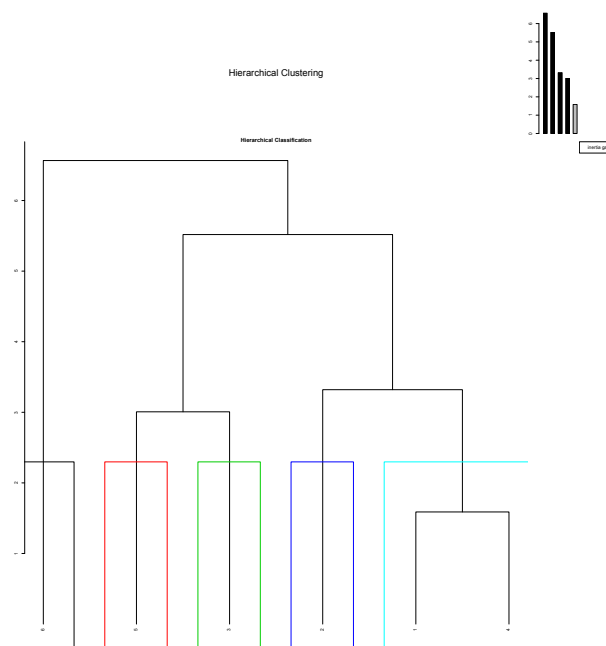


Fig. 56 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 2d

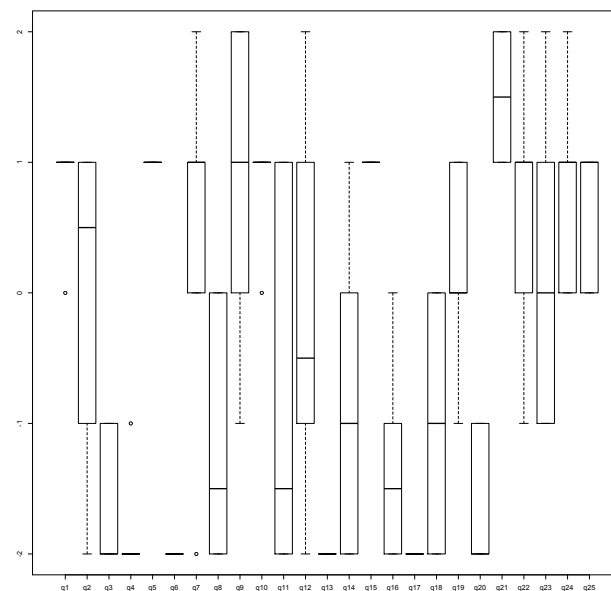


Fig. 57 : Boxplot des réponses du groupe 2b

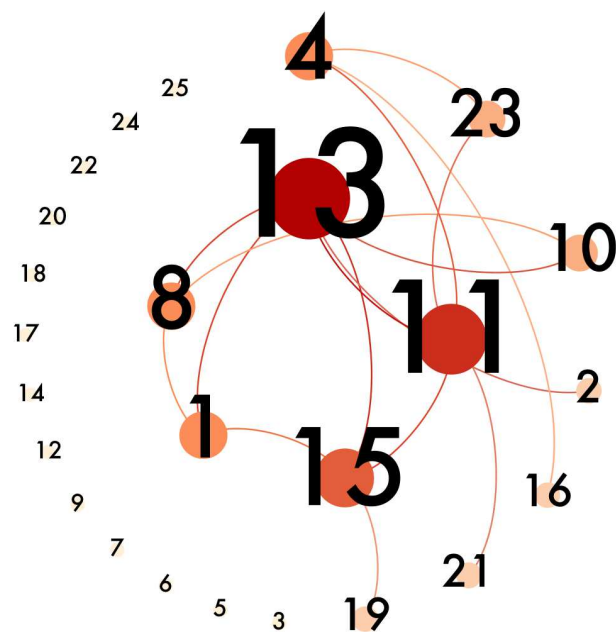


Fig. 58 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 2d

A1.14 Groupe 3

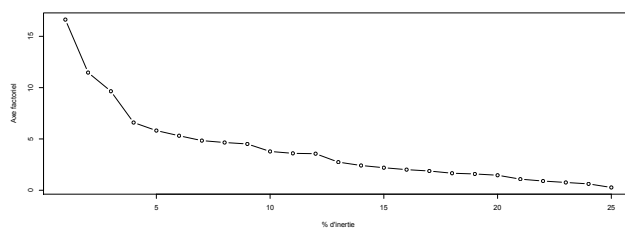


Fig. 59 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3

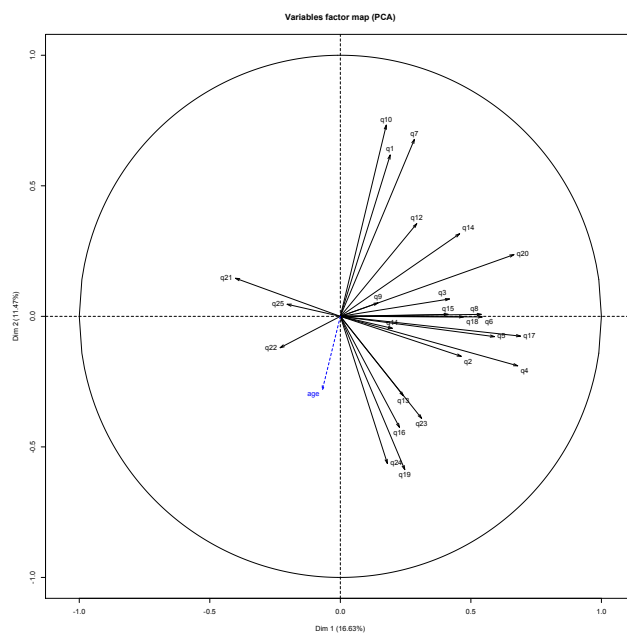


Fig. 60 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3 (axes 1 et 2)

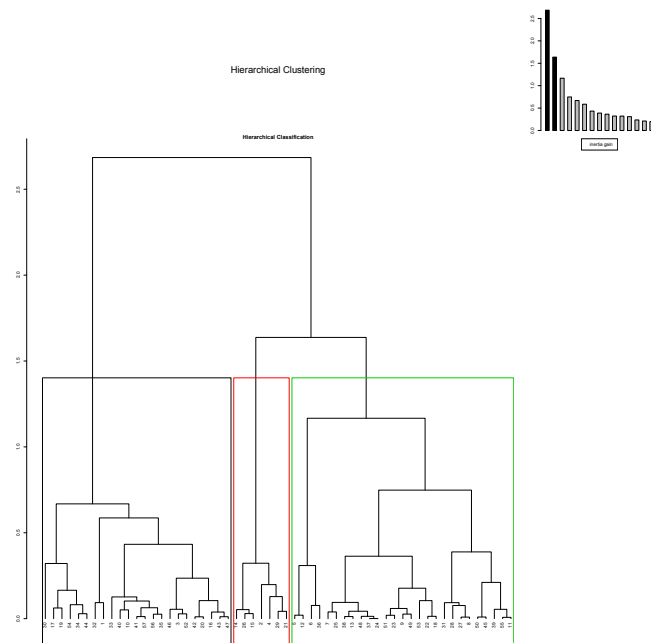


Fig. 61 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3

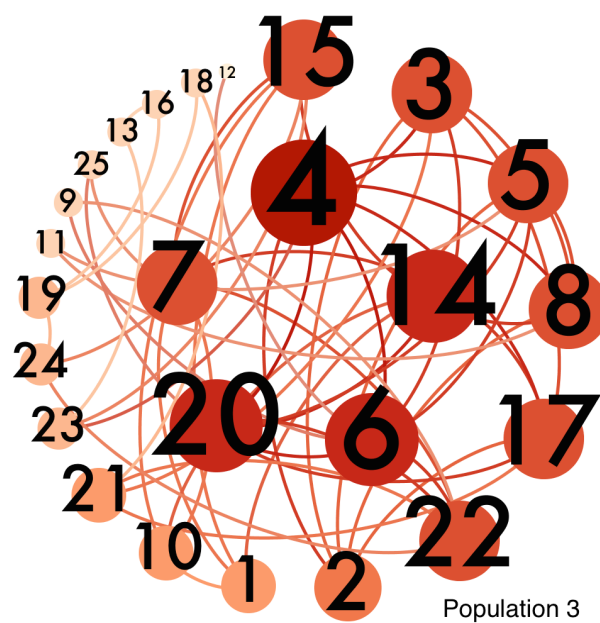


Fig. 62 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3

A1.15 Groupe 3a

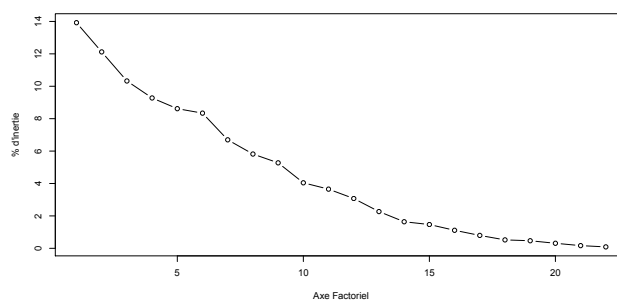


Fig. 63 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3a

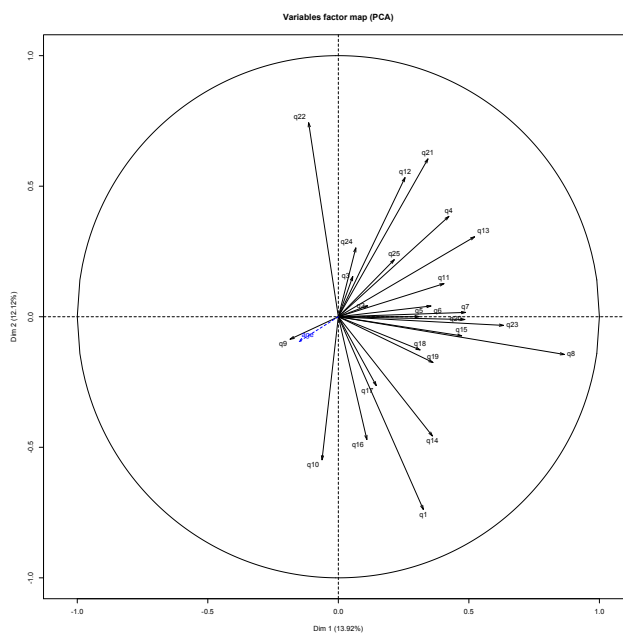


Fig. 64 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3a (axes 1 et 2)

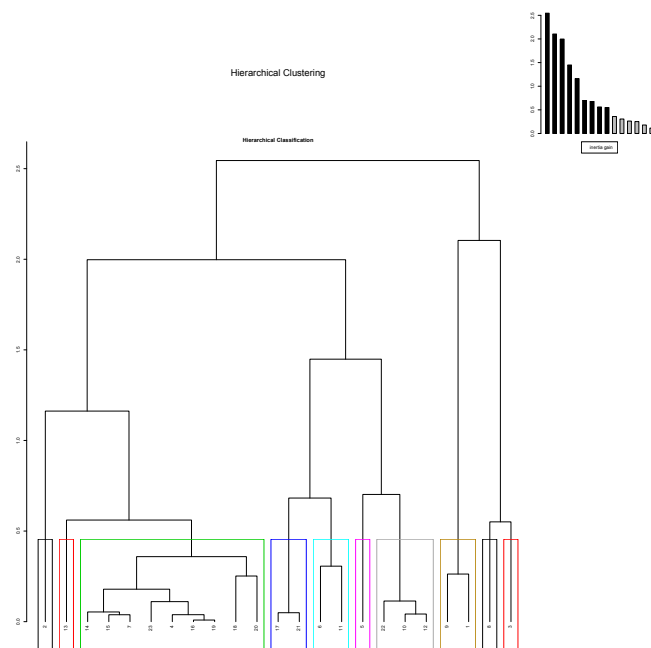


Fig. 65 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3a

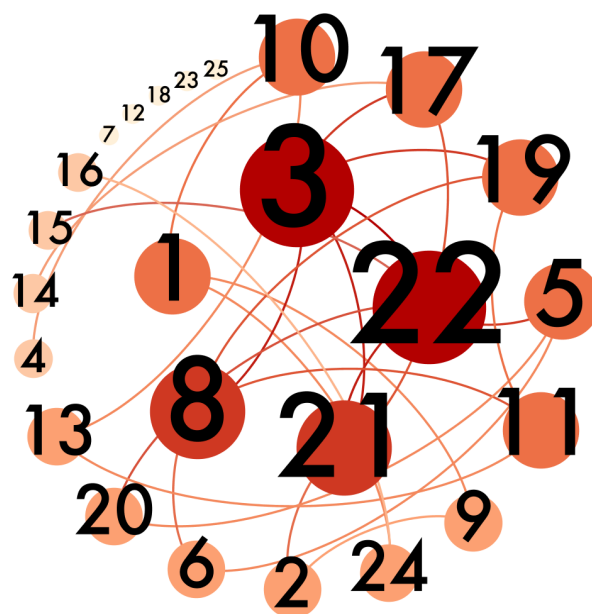


Fig. 66 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3a

A1.16 Groupe 3ac

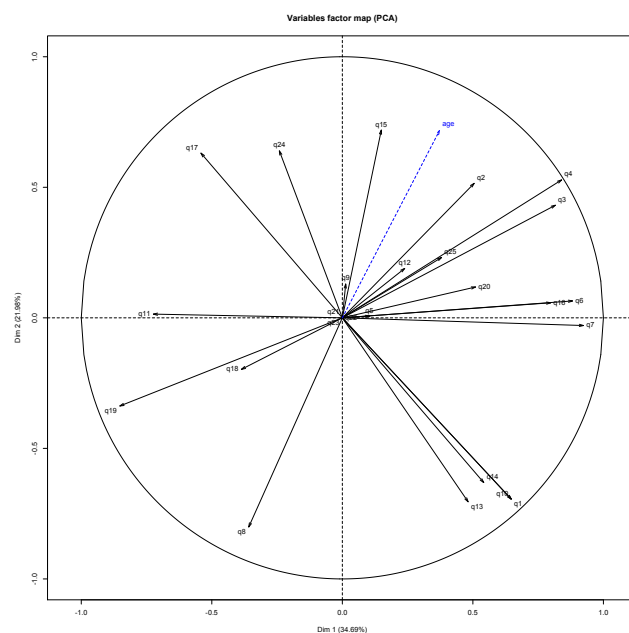


Fig. 67 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ac (axes 1 et 2)

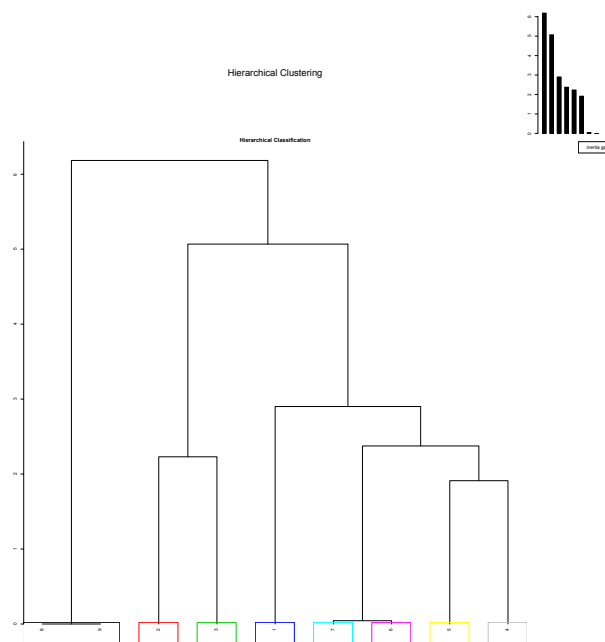


Fig. 68 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ac

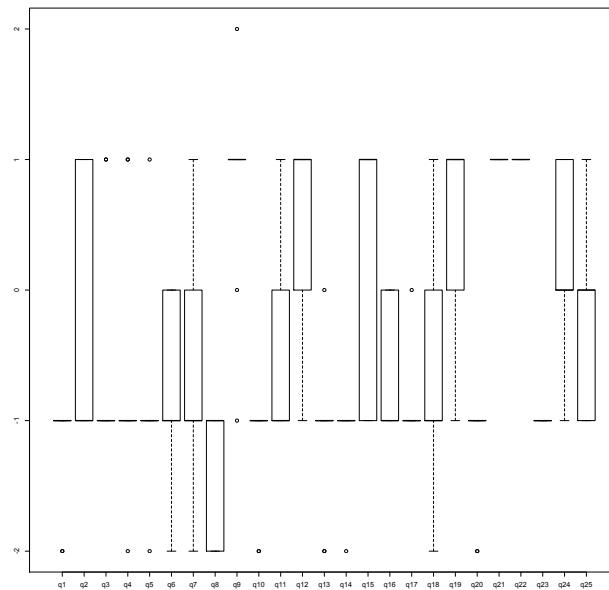


Fig. 69 : Boxplot des réponses du groupe 3ac

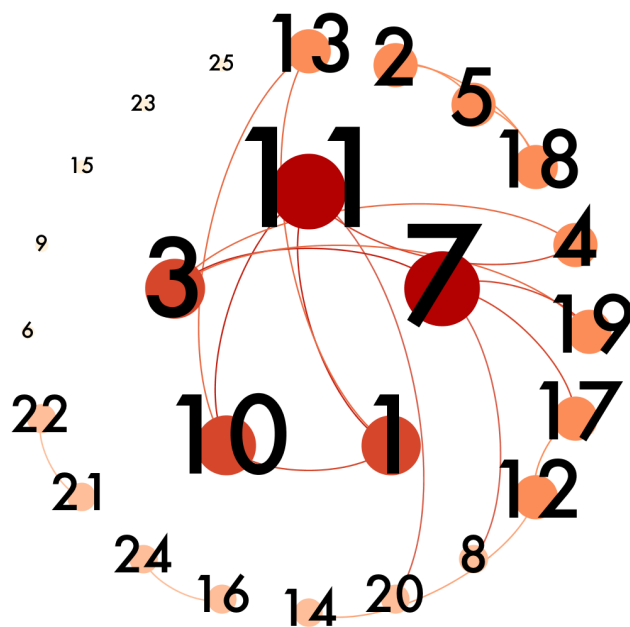


Fig. 70 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3ac

A1.17 Groupe 3b

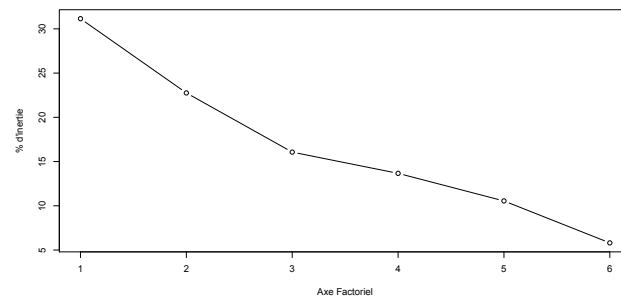


Fig. 71 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3b

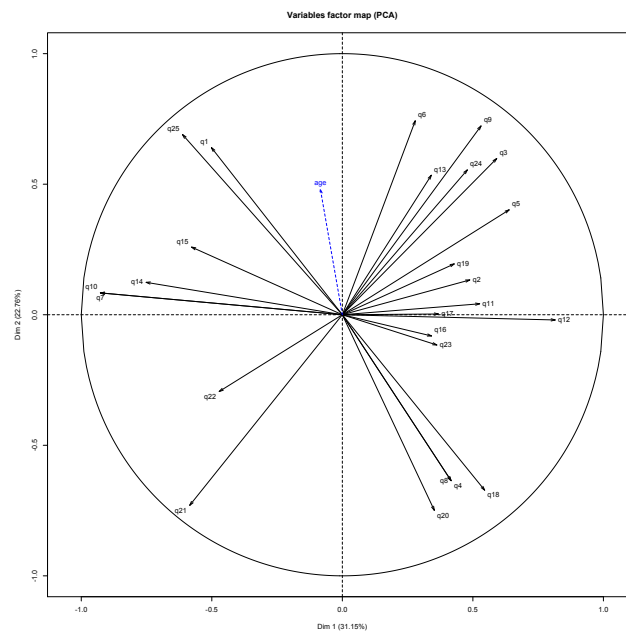


Fig. 72 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3b (axes 1 et 2)

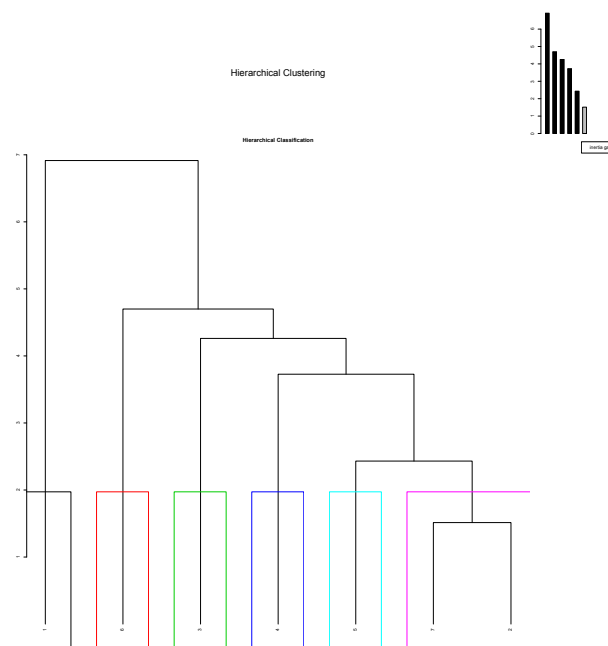


Fig. 73 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3b

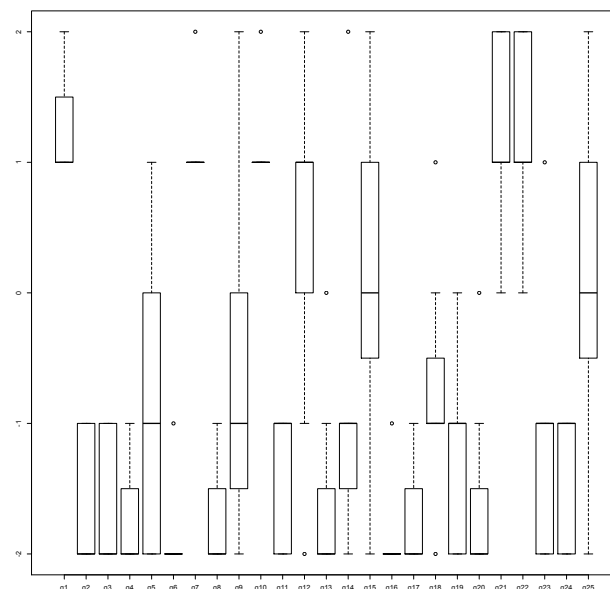


Fig. 74 : Boxplot des réponses du groupe 3b

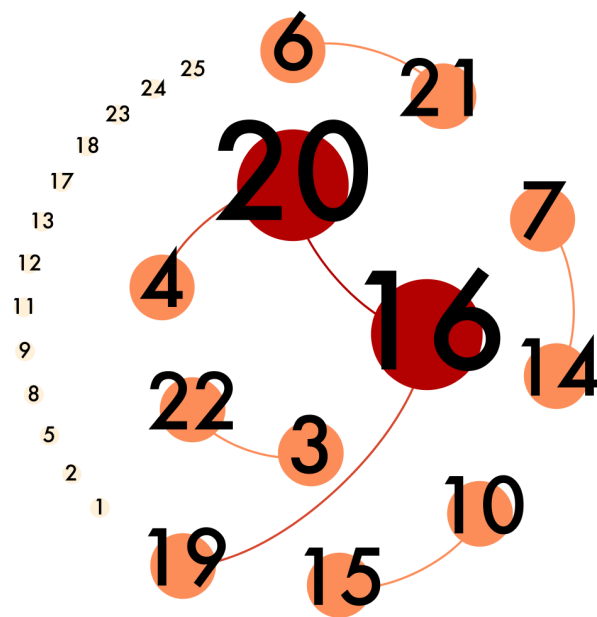


Fig. 75 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3b

A1.18 Groupe 3c

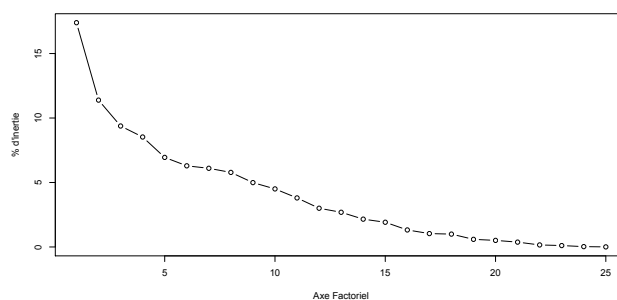


Fig. 76 : Courbe des valeurs propres par axe factoriel dans le groupe 3c

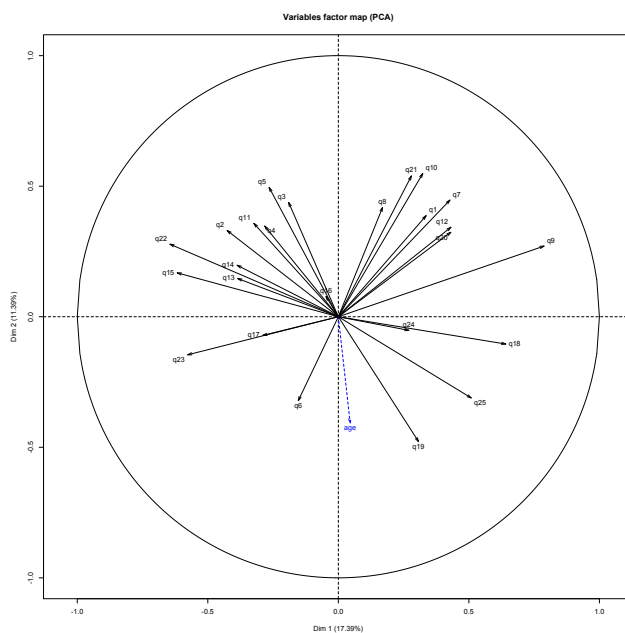


Fig. 77 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3c (axes 1 et 2)

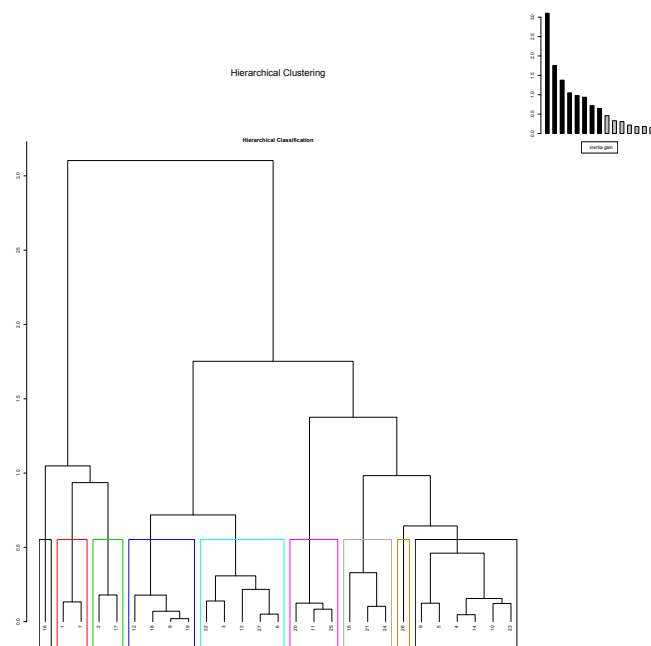


Fig. 78 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3c

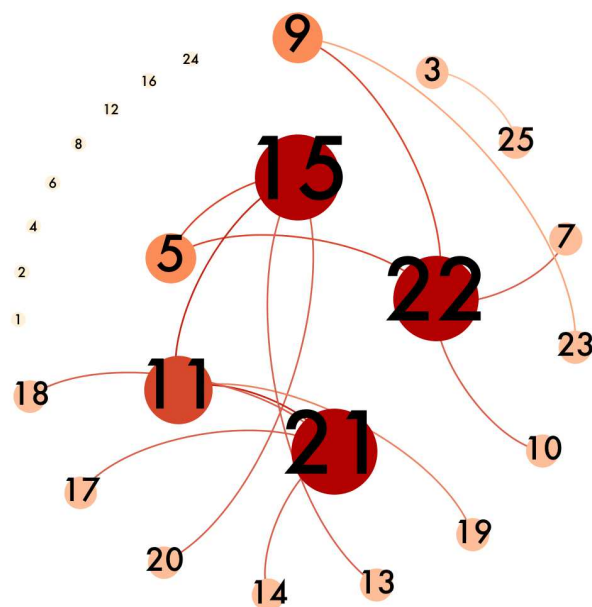


Fig. 79 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3c

A1.19 Groupe 3cd

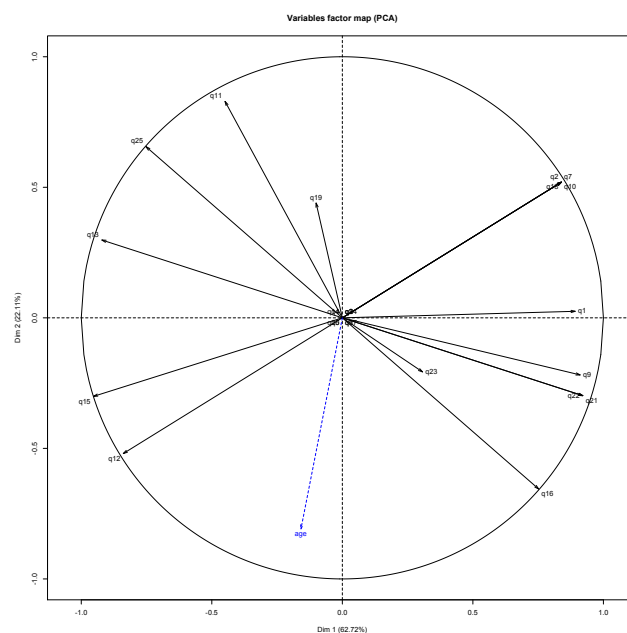


Fig. 80 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3cd (axes 1 et 2)

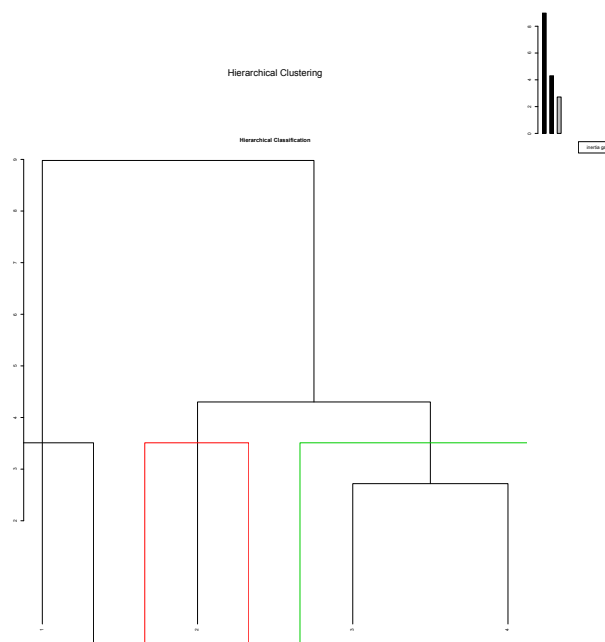


Fig. 81 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3cd

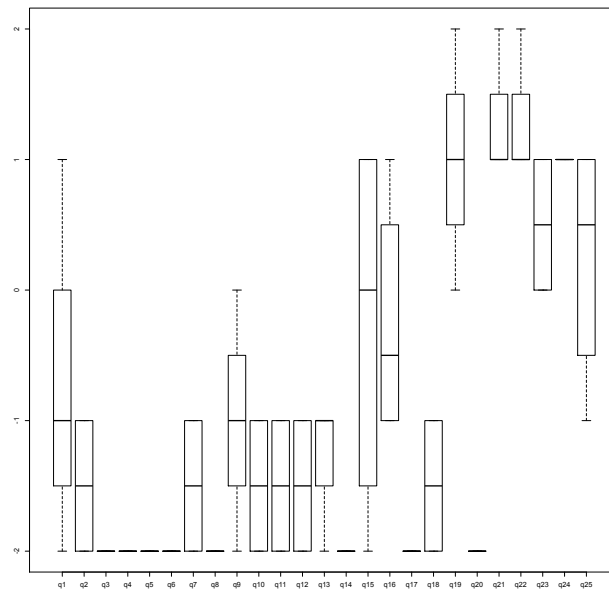


Fig. 82 : Boxplot des réponses du groupe 3cd

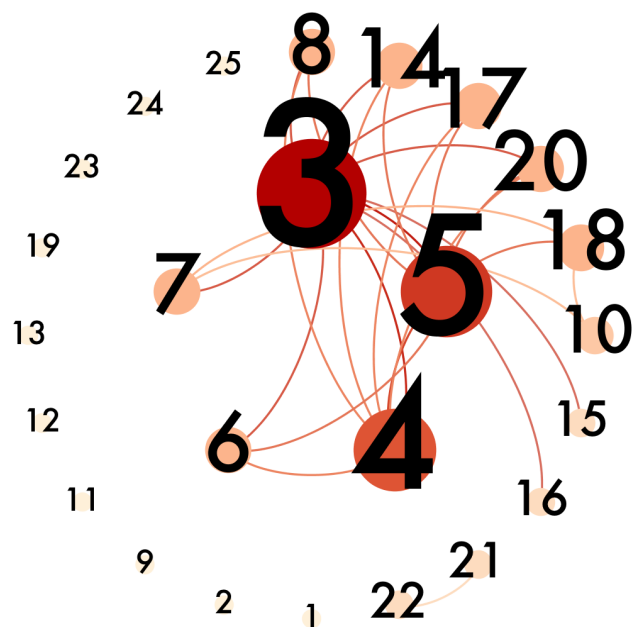


Fig. 83 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3cd

A1.20 Groupe 3ce

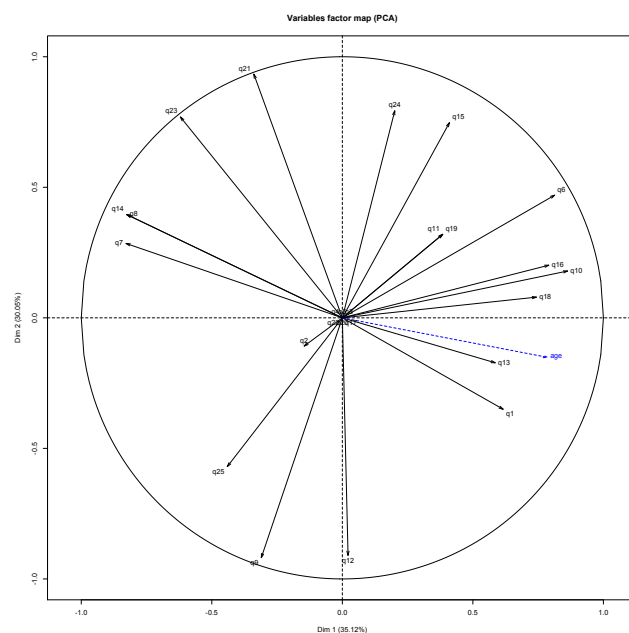


Fig. 84 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ce (axes 1 et 2)

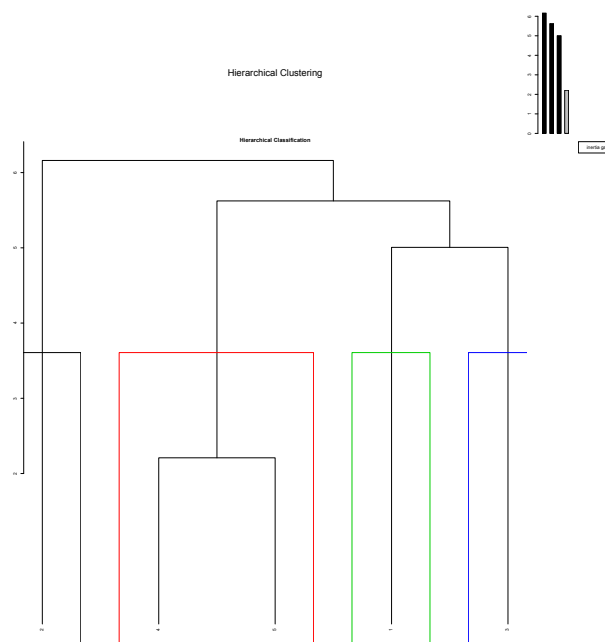


Fig. 85 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ce

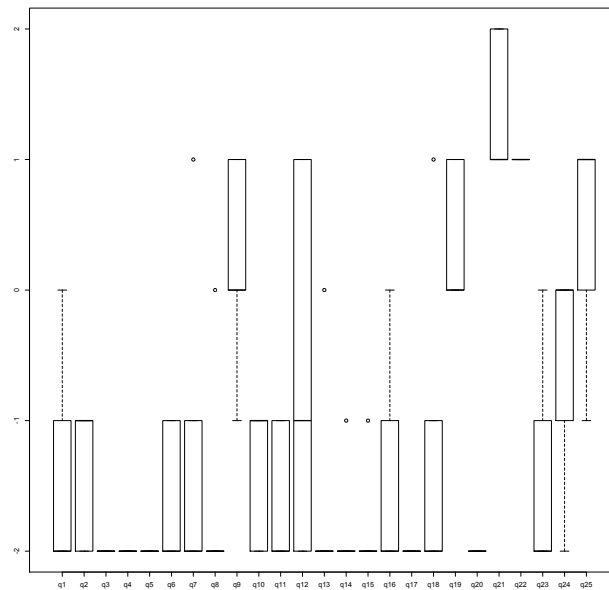


Fig. 86 : Boxplot des réponses du groupe 3ce

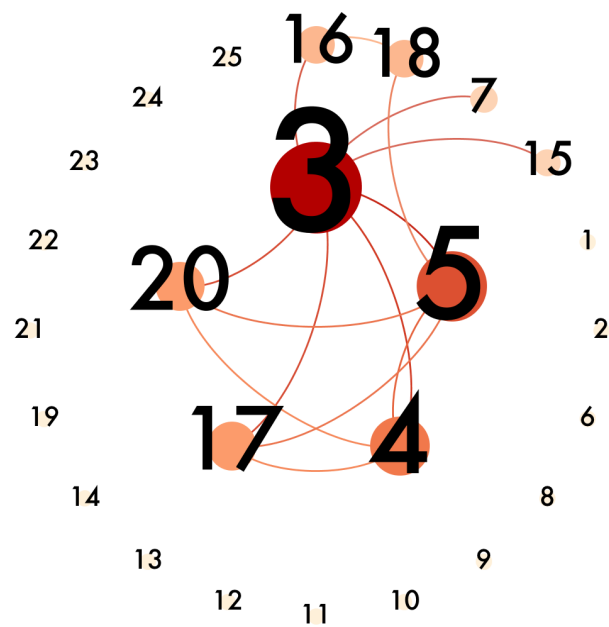


Fig. 87 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3c

A1.21 Groupe 3ci

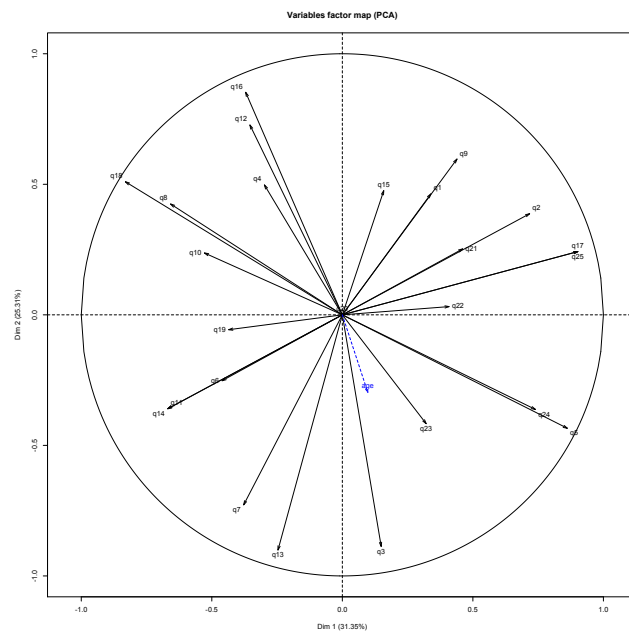


Fig. 88 : Cercle de corrélation des variables dans le groupe 3ci (axes 1 et 2)

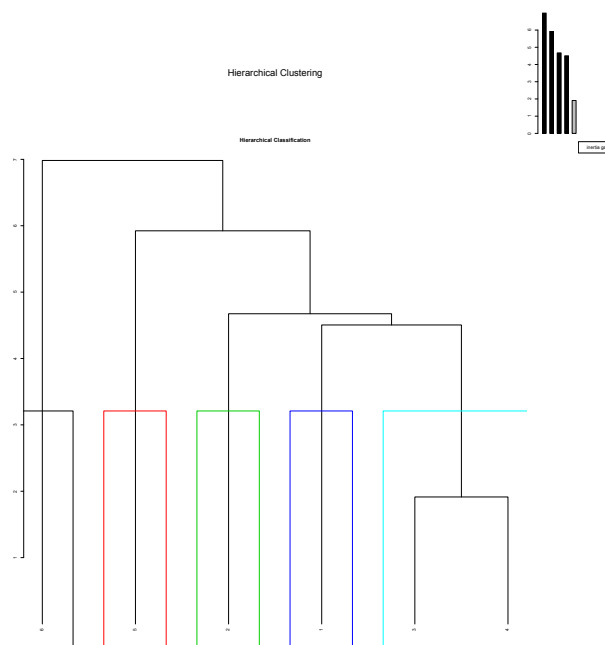


Fig. 89 : Catégorisation hiérarchique au sein du groupe 3ci

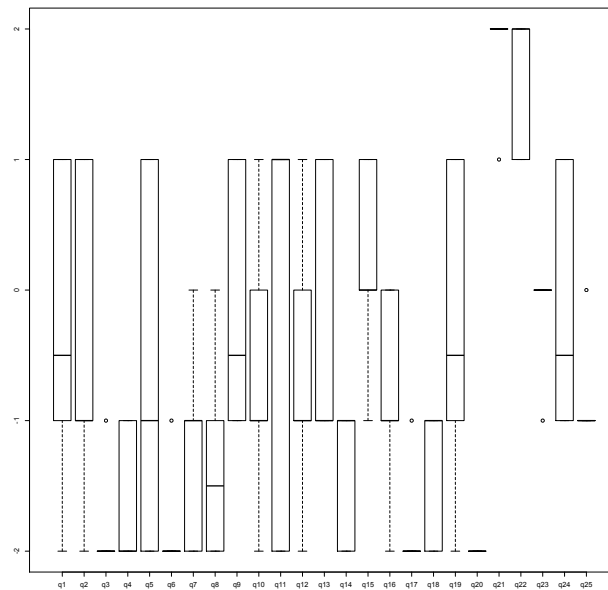


Fig. 90 : Boxplot des réponses du groupe 3ci

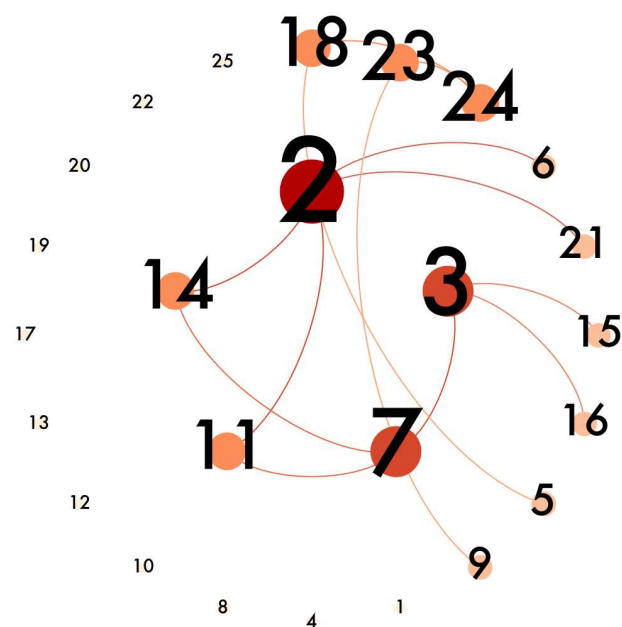


Fig. 91 : Graphe des corrélations entre propositions dans le groupe 3ci

A2 Synthèse

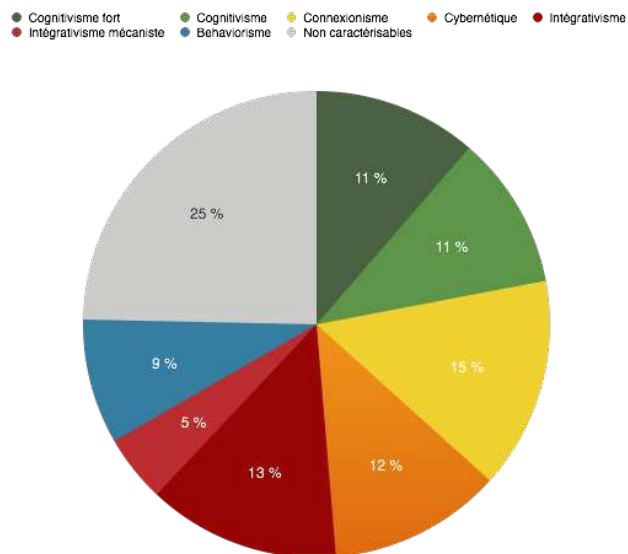
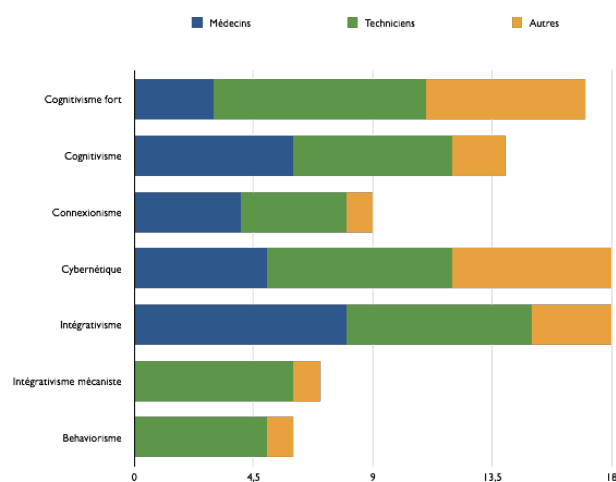


Fig. 92 : Constitution de la population



Ces réponses sont uniquement constituées par les groupes fortement déterminés.

Fig. 93 : Répartition des réponses par catégorie de population

B Fonction de randomisation

```
import random

list = []
buff = []
verif = []

def randomizer(x):
    while len(list) < x:
        num = random.randint(1,x)
        if num in buff:
            pass
        else :
            idx = len(list) +1
            buff.append(num)
            list.append((idx,num))
    for a in list :
        verif.append(a[1])
    if sum(verif) != sum(range(1,x+1)) :
        print "ERROR"
    else :
        print list
```

Références

- Aristote. *De l'âme*. Trad. par Richard Bodéus. Flammarion, 1993.
- *Métaphysique*. Trad. par Marie-Paule Duminil et Annick Jaulin. Flammarion, 2008.
 - *Parties des Animaux*. Trad. par Jean-Marie Le Blond. Aubier, Éditions Mouton, 1945.
 - *Physique*. Trad. par Pierre Pellegrin. Flammarion, 2000.
- Bergson, Henri. *Matière et mémoire : essai sur la relation du corps à l'esprit*. 8. éd. Paris : F. Alcan, 1912.
- Bertalanffy, Ludwig van. *Theorie Générale des Systèmes*. Trad. par Jean-Benoît Chabrol. Dunod, Paris, 2012.
- Chauvet, Gilbert. *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*. VUIBERT. VUIBERT, 2006.
- « Hierarchical functional organization of formal biological systems : a dynamical approach. I. The increase of complexity by self-association increases the domain of stability of a biological system ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences* 339.1290 (1993), p. 425–444.
 - « Hierarchical functional organization of formal biological systems : a dynamical approach. II. The concept of non-symmetry leads to a criterion of evolution deduced from an optimum principle of the (O-FBS) sub-system ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences* 339.1290 (1993), p. 445–461.
 - « Hierarchical functional organization of formal biological systems : a dynamical approach. III. The concept of non-locality leads to a field theory describing the dynamics at each level of organization of the (D-FBS) sub-system ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences* 339.1290 (1993), p. 463–481.
- Descartes, René. *Les passions de l'âme*. Vrin, 1994.
- *Méditations Métaphysiques*. Trad. par Jean-Marie Beyssade et Michelle Beyssade. GF Flammarion, 1979.
- Edelman, Gerald M. *Bright air, brilliant fire : on the matter of the mind*. BasicBooks, 1992.
- *Wider than the sky : the phenomenal gift of consciousness*. New Haven : Yale University Press, 2004.
- Fass, Didier. « Augmented Human Engineering : A Theoretical and Experimental Approach to Human Systems Integration ». In : *Systems Engineering-Practice and Theory* (2012), p. 257–276.
- Fodor, Jerry A. *The language of thought*. The Language of thought series. New York : Crowell, 1975.
- *The modularity of mind : an essay on faculty psychology*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1983.
- Gibson, James Jerome. *L'approche écologique de la perception visuelle*. Trad. par Olivier Putois. 1^{re} éd. Éditions Dehors, oct. 2014.

- Heft, Harry. *Ecological psychology in context : James Gibson, Roger Barker, and the legacy of William James's radical empiricism*. L. Erlbaum Mahwah, NJ, 2001.
- Hobbes, Thomas. *Léviathan*. Trad. par Gérard Mairet. Paris, Folio, 2000.
- James, William. « Does Consciousness Exist ? » In : *The Journal of philosophy, psychology and scientific methods* 1.18 (1904), p. 477–491.
- *La volonté de croire*. Flammarion, 1916.
- « On the function of cognition ». In : *Mind* 10.37 (1885), p. 27–44.
- *The principles of psychology*. New York : H. Holt et company, 1890.
- Kurzweil, Ray. *The singularity is near : When humans transcend biology*. Penguin, 2005.
- Lalande, André. *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. 2. ed. Paris : Presses Universitaires de France, 2006.
- Likert, Rensis. « A technique for the measurement of attitudes. » In : *Archives of psychology* (1932).
- Marr, David. *Vision : a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 2010.
- McCulloch, Warren et Walter Pitts. « A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity ». In : *The bulletin of mathematical biophysics* 5.4 (1943), p. 115–133.
- Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. *État des lieux : Les Femmes dans la Recherche*. Rapp. tech.
- Platon. « Protagoras ». In : *Oeuvres complètes*. Paris : Flammarion, 2008.
- « Timée ». In : *Oeuvres complètes*. Paris : Flammarion, 2008.
- Putnam, Hilary. « La nature des états mentaux ». In : *Les Études philosophiques* (1992), p. 323–335.
- Pylyshyn, Zenon W. *Computation and cognition : toward a foundation for cognitive science*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1984.
- Reichenbach, Hans. *Elements of symbolic logic*. New York : Macmillan Co., 1947.
- Rosenblueth, Arturo, Norbert Wiener et Julian Bigelow. « Behavior, purpose and teleology ». In : *Philosophy of science* 10.1 (1943), p. 18–24.
- Rumelhart, David et James McClelland. *Parallel distributed processing : explorations in the microstructure of cognition*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1986.
- Ruyer, Raymond. *La cybernétique et l'origine de l'information*. Paris : Flammarion, 1954.
- Simondon, Gilbert. *Communication et information : cours et conférences*. Philosophie. Châtaou : Editions de la Transparence, 2010.
- *Du mode d'existence des objets techniques*. Ed. augm. Aubier, 1989.
- *L'individu et sa genèse physico-biologique : l'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*. Épiméthée ; essais philosophiques. Paris : Presses universitaires de France, 1964.
- Skinner, B. F. *About behaviorism*. New York : Vintage Books, 1974.
- Turing, Alan M. « On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem ». In : *J. of Math* 58 (1936), p. 345–363.

Vaihinger, Hans. *La philosophie du comme si*. Trad. par Christophe Bouriau. Editions Kimé, 2008.

Watson, John B. *Behaviorism*. New York : W. W. Norton et company, inc, 1925.

Wiener, Norbert. *Cybernetics : or, Control and communication in the animal and the machine*. 2d ed. New York : M.I.T. Press, 1961.